








Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences — موسوعة العمري في علوم الأرض

المعادن والتعدين






عبد الله بن محمد العمري

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - كلية العلوم - جامعة الملك سعود

١٤٤٤ هـ - ٢٠٢٣ م



www.alamrigeo.com



فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد سعيد

كتاب المعادن والتعدين. / عبدالله بن محمد سعيد العمري - ط١..-

الرياض، ١٤٤٣هـ

١٠٤ ص ، ٢١,٥ X ٢٨

ردمك: ٣-٩٩١٢-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

١ - المعادن ٢ - التعدين أ. العنوان ب. الموسوعة

ديوي ٥٥٢ ٧٦٣٥ / ١٤٤٣

رقم الإيداع ٧٦٣٥ / ١٤٤٣

ردمك: ٣-٩٩١٢-٠٣-٦٠٣-٩٧٨

تطلب النسخة الورقية المجانية من المؤلف على العنوان التالي:

قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود ص.ب 2455 الرياض 11451

الإصدار الإلكتروني من خلال الموقع

www.alamrigeo.com

للاستفسارات والملاحظات الاتصال على:

جوال +966505481215 هاتف +966 11 4676198

البريد الإلكتروني E.mail : alamri.geo@gmail.com

الطبعة الأولى

١٤٤٤هـ / ٢٠٢٣م


بسم الله الرحمن الرحيم
﴿ وَفِي ٱلۡأَرۡضِ ءَايَٰتٞ لِّلۡمُوقِنِينَ ﴾
[سورة الذاريات : آية 20]
﴿And on the Earth are Signs for
Those Whose Faith is Certain﴾


موسوعة العمري في علوم الأرض



تمهيد

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا الجهد المتواضع المرتبط بتأليف الموسوعة العلمية العربية. تهدف الموسوعة العلمية الشاملة في علوم الأرض والبيئة والطاقة إلى تزويد وخدمة الباحثين وطلاب المدارس والجامعات وفئات المجتمع نظراً لمعاناة المهتمين من مشاكل ندرة المراجع العربية في هذا المجال. تشتمل الموسوعة المجانية والتي تعتبر الأضخم عالمياً على 30 كتاب علمي ثقافي موثق ومدعم بالصور والأشكال التوضيحية المبسطة في 6000 صفحة تقريباً تغطي **خمسة أجزاء** رئيسية:

الجزء الأول مكون من ستة كتب يناقش عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية وعلاقتها بالمد والجزر:

- تقدير عمر الأرض
- التركيب الداخلي للأرض
- شكل الأرض وحركاتها
- المعادن والتعدين
- الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها
- المد والجزر

الجزء الثاني من الموسوعة يشتمل على ستة كتب تربط علاقة الأرض بالنظام الشمسي وبالأخص القمر والأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض. وكذلك دور الزلازل والتفجيرات والبراكين والتسونامي في التأثير على بنية الأرض وكيفية تقليل مخاطرها:

- موجات التسونامي
- البراكين وسبل مجابهتها
- الزلازل والتفجيرات
- جيولوجية القمر
- تقييم مخاطر الزلازل
- الأغلفة المحيطة بالأرض

الجزء الثالث يتألف من ستة كتب يربط كل ما يتعلق بالمشاكل والكوارث البيئية والطبيعية وحلولها والتغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري:

- المشاكل البيئية وحلولها
- الانزلاقات والإنهيارات والفيضانات
- التغيرات المناخية والاحتباس الحراري
- الأمطار والسيول والسدود
- التشجير: التحديات والحلول
- التصحر والجفاف

الجزء الرابع يتكون من ستة كتب يناقش ارتباط علوم الأرض بالعلوم الأخرى نووياً وطبياً، وكذلك دور الطاقة المستدامة النظيفة اقتصادياً وبيئياً:

- مستقبل الطاقة في عالمنا
- الجيوفزياء النووية
- الطاقة الحرارية الأرضية
- الجيولوجيا الطبية
- هل إنتهى عصر النفط؟
- دليل كتابة الرسائل والنشر العلمي

أما **الجزء الخامس** يتألف من ستة كتب متخصصة في العلوم الجيولوجية مكونة من 2020 سؤال وجواب لمساعدة طلاب الجامعات والباحثين وتهيئتهم للاختبارات الشاملة والتأهيلية للدراسات العليا ومزاولة المهنة:

321 سؤال وجواب في تطور الأرض
358 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء والاستشعار عن بُعد والـ GIS
358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية
380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية
303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلزالية الهندسية
300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية

المؤلف

مُقَدِّمَة

ربما تعود الجذور الأولى لعلاقة الإنسان بالمعادن إلى الصدفة الحسنة التي جعلته يميز بين الأشياء. حيث إنّه وجد أن هذا الشيء (معدن) لامع وصلب ومتكتل على نفسه، وهو يختلف بخصائصه عن الأشياء الأخرى المحيطة به من نباتٍ أو صخورٍ أو حيوانٍ. وبتتبعنا لمراحل وتاريخ نشأة علم المعادن والتعدين Mineralogy and Mining أو (العدانة) فإننا لا نتتبع تاريخ تطور وتقدم الحضارات عبر العصور وحسب، وإنما نهوض وأفول الحضارات أيضاً. فكما أنّ المعادن أسهمت في رقي البشر ورفاهيتهم من خلال الاستفادة منها في مختلف التطبيقات؛ فإنها - من ناحية أخرى - أسهمت بدمارهم من خلال تطويرهم للأسلحة الفتّاكة. من ناحية الأهمية؛ **فقد صارت معادن الحديد والنحاس والرصاص والزنك عند الإنسان أكثر أهميةً من الأحجار الكريمة منذ أن بدأ الإنسان بالسيطرة على البيئة واخترع الآلات.**

اشتق لفظ «**معدن** Mineral» في العربية من كلمة (عَدَنَ)، والتي تعني الإقامة لزمنٍ طويلٍ. وقد أطلقها العلماء العرب والمسلمين بشكلٍ خاص على الأحجار الكريمة والجواهر (كالياقوت والزمرد وغيرها)، ولم يطلقوها على المعادن العنصرية التي نعرفها نحن اليوم، أي الذهب والحديد والفضة، وإنما أطلقوا عليها مصطلح «فلزات Metal» (الزركان، 2006م).

ويرى الباحثان **الورد والفضلي** (1977) أنّ كلمة «المعدن» كانت تعني عند العرب «المنجم»، وكان **القزويني** أوّل من استخدم لفظ «المعدن» ليدلّ على معنى المعدن ومعنى المنجم. نشير هنا إلى أن العلماء العرب كانوا يطلقون مصطلح (الفلز) على الحديد و(المعدن) على الهيماتيت. أما كلمة معدن في اللغة اللاتينية Metal فقد اشتقت من كلمة (يبحث) عن اللغة اليونانية، التي تشير إلى ندرة المعادن قديماً، الأمر الذي قد يفسّر لنا سبب اقتصار استخدامها في أدوات الترف والزينة قبل دخولها مجالات الصناعة (برنال، 1981م).

لقد تأخرت عملية تنظير علم المعادن كثيراً عن جانبه التطبيقي، فالكثير من الأفكار المهمة من الناحية التاريخية لم توضع - كما يقول المؤرخ **هولدين**- أول الأمر بهيئة كلمات وألفاظ، بل كانت اختراعات تنتقل بالتقليد، ولم تنتقل إلى ألفاظٍ إلا بشكلٍ بطيء. وحتى عندما أرسيت على شكل نظرية لم يكن لها معنى، في حين اكتسبت القدرة العملية شأناً ووزناً. مثلاً كان المعدنون المصريون يدركون أنّ أصلب سبيكةٍ من البرونز هي التي تحوي على نحو 12 % من القصدير، ولو قلت هذه النسبة في السبيكة عن ذلك فلن تتوفر فيها الصلابة المطلوبة، ولو زادت عن ذلك لزادت قابلية البرونز للكسر (فارنتن، 2011م).

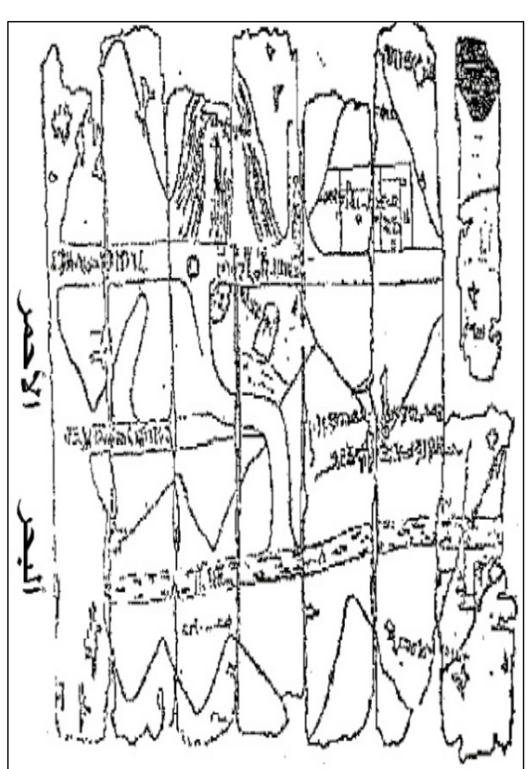
في حين يُعرّف **علم المعادن والتعدين** على أنّه علم وفن استخراج المعادن (الحديد، النحاس، القصدير... إلخ) من خاماتها وجعلها صالحة للاستخدامات التطبيقية والتجارية، فهو يدرس عملية تحويل المعادن من الحالة الطبيعية التي كانت عليها وهي مدفونة في قشرة الأرض، إلى حالتها النقية، ويستفيد هذا العلم من القوانين الكيميائية والفيزيائية.

أما أولى عمليات **التعدين** فهي تحويل الصخور الفلزية إلى معدنٍ نقي، ومن الناحية الفنية، إنّ الكتلة المادية التي تحوي على معدنٍ هي فلزٌ إذا كان استخراج المعدن منها مجدياً من الناحية الاقتصادية. فاستخراج المعادن يجب أن يكون بكمياتٍ كافيةٍ لها قيمةٌ مرتفعةٌ بحيث إنّ الإنتاج النهائي يغطي كلفة عمليات الاستخراج مع توفير ربح معقول.



تقسيمات العصور التاريخية

توجد أقدم خارطة جيولوجيةٍ معروفةٍ توجه الشخص نحو مكمن للذهب في متحف تورين. وقد رُسمت هذه الخريطة (على بردية تورين Turin Papyrus)، اكتشفت عام 1825م، وقد نقلها لإيطاليا العالم دورفيتي غاردنر D. Gardiner (هميمي، 2002م). ففي عام 2000 ق.م أمر الفرعون ستهي الأول بالبحث عن الذهب على طول شاطئ البحر الأحمر (دوكروك، 1981م). هذه الخريطة تجعل من المصريين القدماء من أصحاب الحضارات السبَّاقة في مجال تأسيس علم المعادن والتعدين.





صورة أقدم خريطة جيولوجية معروفة وقد كانت مخصصةً لتحديد مواقع مناجم الذهب والمحاجر في وادي الحمامات، يوضح بالكتابة الهيراطيقية الأسماء التي تطلق على الجبال والطرق المؤدية إليها. الرسم منجر على بردية تعود للدولة الحديثة، الأسرتان التاسعة عشرة والعشرون (بونهيم و بفيرش، 2014م).

قد تعود معرفة الإنسان بالمعادن إلى نحو 7000 سنة، عندما بدأ يستخدمها في صناعة الحلي والأدوات، وقد كان الذهب بلمعته الصفراء صاحب الحظ الأوفر في الاكتشاف والاستخدام، وقد تبعه بعد ذلك الفضة والنحاس، لحق بها الحديد المكتشف في الأحجار النيزكية. ولم تجري أولى عمليات التعدين واستخراج المعادن من باطن الأرض إلا منذ نحو 5000 سنة في الحضارات المتقدمة في تلك العصور، ويعد اكتشاف القصدير في الصين نقطةَ انعطاف كبرى، فقد تمكن الصينيون وقدماء المصريين من سبكه مع النحاس لصناعة سبائك البرونز وفتح عهد جديد أطلق عليه المؤرخون اسم (العصر البرونزي) الذي سبق العصر الحديدي (الصباغ، (د. ت).

يرى المؤرخون أنّ العصور التاريخية المنسوبة لظهور المعادن، أي العصر الحجري والنحاسي والبرونزي والحديدي، لم تكن في زمنٍ واحد في جميع أنحاء العالم القديم، كما أنّها اختلفت في مدد استمراريتها بين حضارةٍ وأخرى بسبب عدم توفر الخامات بالكميات نفسها، وبسبب احتكار أسرار الصناعة من قِبل العاملين فيها.

مع دخول البشر العصر الحديدي أدركوا أنّ تعدين الحديد يختلف عن تعدين البرونز، ففي حالة البرونز يعتمد الأمر برمته على تركيب السبيكة؛ أما في حالة الحديد فإنّ الخصائص المرغوب إكسابها للمعدن تعتمد بشكل

كبير على طريقة المعالجة؛ أي زمن الإانة المعدن ودرجة حرارته وسرعة التقسية (فارنتن، 2011م).

في الواقع لم تكن صناعة التعدين لتتجح منذ نشأتها الأولى لولا النار. وقد تنبّه إلى هذا الأمر المؤرخ الروماني بليني عندما وصف أثر النار ودورها فقال: «هي العامل الفعَّال» (فارنتن، 2011م). فمن ضرب حجرين مع بعضهما ولّد الإنسان النار ومن النار عاد واستخرج المعادن من الصخور.

وإذا علمنا أنّ أحدث تقديرات لعلماء الحفريات عن بداية استخدام الإنسان للنار تعود إلى وقتٍ ما بين 2 مليون و 1.75 مليون سنة (كورييرر، 2020م)، لنا أن نتوقع أن استكشاف المعادن يعود لفترات أبعد بكثير من تلك الفترات التي جرى خلالها تقسيم العصور البشرية على أساسها. ونسوق هنا عدة أدلة تؤكد ذلك (عبد الحميد، 2008م):

- عُثر على مشغولات نحاسية تعود إلى 9500 سنة ق.م في أحد الكهوف في جبال زاغروس شمال شرق العراق، وهذا يعني أنها أقدم بنحو 4500 سنة من التاريخ الذي حدده أصحاب نظرية تقسيم العصور لمعدن النحاس خلال الفترة من 5000 – 3000 ق.م.
- عُثرَ على قطع نحاسية مشغولة تعود إلى 7200 ق.م في كهوف تقع جنوب شرق تركيا وشمال شرق إيران.
- عُثر على قطع نحاسية مشغولة تعود إلى 6000 ق.م في أوربا بمنطقة روبنهاوزن بسويسرا.

- عُثر على قطع نحاسية مشغولة تعود لحضارة البداري (حضارة تعود لفترة ما قبل عصر الأسر) بأسيوط في صعيد مصر يعود تاريخها إلى الألف الخامس ق.م.

ويؤكد المؤرخ **جورج سارتون** إلى أنّ تقسيم الحقب التاريخية إلى عصور تجمعها صفةٌ واحدةٌ، لم تحدث في وقتٍ واحد في كل أقاليم الحضارات، ربما ابتدأت مبكرةً، وربما استمرت أطول من غيرها. مثلاً استمر العصر الحجري في الأمريكيتين إلى عصر الغزو الأوربي. من ناحيةٍ أخرى فقد استمرت الأدوات الحجرية بالاستخدام في العصر البرونزي، وكذلك استمرت الأدوات البرونزية بالاستخدام في العصر الحديدي وهكذا. وقد يبقى استخدام الأشياء القديمة لأغراض احتفالية أو دينية، مثل استخدام السكاكين الحجرية لأغراض الختان في مصر الفرعونية وفلسطين، أو استخدام الآلات المصنوعة من حجر اليشم في الصين (سارتون، 2010م).

من ناحيةٍ أخرى فإنّ المدة الزمنية التي حدث فيها الانقلاب من العصر البرونزي إلى عصر الحديد هي «مرحلةٌ غامضةٌ»، وليس من الممكن، ولا من الضروري أن نعيّن هذه المرحلة تعييناً دقيقاً على سلم الزمن، وذلك لأنّ وقوعها ومداها اختلف من مكانٍ لآخر (سارتون، 2010م). مثلاً بعض الحضارات لا تعرف العصر البرونزي، مثل: اليابان وأستراليا وأمريكا الشمالية وجنوب الهند ووسط إفريقيا وبولينيزيا وشمال روسيا وفنلندا، حيث إنّ هذه الحضارات قفزت مباشرةً من العصر الحجري إلى العصر الحديدي (كوب ووايت، 2001م).



المعادن والتعدين عند الحضارات القديمة

المصريون القدماء

انتشرت عدة مناجم معدنية في مصر القديمة، وقد وثّق لنا المصريون بالصور عملية التعدين التي كانوا يقومون بها من خلال المشاهد الجدارية، وهي توضح أنّ المعدن كان يوضع في فرن مفتوح أشبه بالأتون كان يُصنع من الطين لصهر المعدن، ثم يوضع الأتون فوق موقد وضع تحته كمية من الفحم النباتي، وكانت تُرفع درجة الحرارة باستخدام أنابيب نفخ الهواء، ولم تُعرف منافخ إحماء النار إلا في أوائل الدولة الحديثة، وقد كان المنفاخ الذي استخدموه يتركب من قطعتين من الجلد مفلطحتين ومتصلتين من أحد طرفيها بفوهةٍ ضيقة، فعند الضغط على الجلدتين بالقدم يدخل الهواء إلى الفوهة ويوجّه إلى جمرات الفحم النباتي، ومع أنّ هذه الطريقة بدائيةً، إلا أنها كانت كافيةً للحصول على درجة الحرارة المطلوبة لسبك المعدن. بشكل عام كان إنتاج المعادن قليلًا في كل مرة تعدّن فيها كمية من الخامات، كما أنه كان يحوي على الكثير من الشوائب التي لا يمكن التخلّص منها إلا بإعادة عملية السبك، وبعد انتهاء عملية السبك كانت السبيكة توزن بالميزان قبل أن تعطى لصانع المعدن (جيمز،1999م).

ولرفع درجة حرارة فرن صهر المعادن استخدم المصريون القدماء أنابيب النفخ منذ الأسرة الخامسة، كما أنهم استخدموا الكير منذ أيام الأسرة الثامنة عشرة وما بعد (سارتون، 2010م).

تشير الوثائق المصرية إلى وجود هيئة متخصصة للكشف عن الموارد المنجمية، والذهب بصفة خاصة، وقد كانت هذه الهيئة تضم أشخاصاً يطلق عليه اسم (سمنتيو)، التي تترجم إلى (منقب جيولوجي). وقد كان يصوّر هؤلاء المنقبين في أغلب الأحيان وهم يمسكون في يدهم كيساً صغيراً من الجلد، حيث إنهم يضعون فيه العينات التي يجمعونها من الصحراء، لكن ليس هناك توضيحٌ للأساليب الفنية التي كانوا يستخدمونها أثناء عملية التنقيب، وإنّما يُتوقع أن تكون طريقةً عمليةً بحتة تقوم على ملاحظة الصخور بأكبر قدر من الدقة، ومع ذلك كان يفوتهم بعض المناجم التي كان بإمكانهم استثمارها. ويبدو أنّ الكثير من المناجم الأقل غنىً قد استنزفت منذ أيام الأسر الأولى (بونهيم، وبفيرش، 2014م).

كما وثّقت عمليات التعدين في مصر من خلال مجموعة من الآثار المنحوتة والأعمال المكتوبة. إذْ يحدّثنا العالم العربي **عبد اللطيف البغدادي** (توفي 629هـ / 1231م) أنّ المصريين القدماء قد رسموا على الجدران العُمَّال وآلاتهم التي كانوا يستخدمونها (البغدادي، 1869م).

كذلك فقد وثّق المصريون القدماء عمليات التعدين على البرديات المحفوظة حالياً في متحفي ليدن وإستكهولم، لكنّ علماء الآثار لم يتمكنوا من تحديد العصر الذي تعود إليه: هل هو عصر الفراعنة القدماء أما البطالسة (البابا، 2000م).

أما عن عملية سبك التماثيل، فقد كانت تجري عند المصريين القدماء، منذ العصرين الصاوي والبطلمي، وفق أسلوب الشمع المزاغ، ففي حالة الأشياء الصغيرة التي تُصنع مصمتة كانت تُصب بقالب من شمع العسل، ثم يُكسى بالطين الذي تُصنع فيه فتحات منفذة، ثم يُسخّن النموذج فيتماسك الطين

ويصبح فخارياً، بعدها ينصهر الشمع ويتسرّب خارج الفتحات. بعد تصّلب القالب الطيني يُصبّ المعدن في هذه الفتحات حتى يمتلئ جوف الفخار بالمعدن، وعندما يبرد المعدن يكسر القالب الفخاري ويُصقل النموذج. أما في حالة الأشياء والتماثيل الكبيرة فكانت تطبق طريقةٌ أخرى؛ حيث يُشكّل التمثال من رمل الكوارتز، ثم يُكسى بطبقة من شمع العسل الذي يُكسى بدوره بالطين الذي يعمل فيه الفتحات. ومع التسخين يجف الطين ويتسرّب الشمع فيصبّ المعدن في الفتحات ويملأ مكان الطبقة الشمعية المتبخرة، إلا أنّهم لم يوضحوا كيف كانوا يحافظون على القالب الرملي الداخلي متماسكاً خلال العملية، وبعد أن يبرد المعدن كان الغطاء الفخاري يُكسر، ثم يُصقل التمثال صقلاً نهائياً بوساطة الإزميل. وواضح من هذه العملية أنّ التمثل كان مجوفاً خفيف الوزن اقتصادياً في إنتاجه (جيمز، 1999م).

يبدو من بقايا المناجم أنّ المصريين القدماء قد استنفذوا المناجم المعدنية القريبة من سطح الأرض في البداية، ثم مضوا نحو التنقيب والحفر عميقاً. والدليل على ذلك نجده في مناجم سيناء منذ عصر الدولة القديمة، ثم جرى استغلال هذه المناجم مرة أخرى في عصر الأسرة الثانية عشرة، زمن الملك سنوسرت الأول (1980–1935 ق.م.)، ثم جرى التعمق في ذلك الاستغلال زمن أمنمحات الثالث (1849–1801 ق.م.) الذي حفر آباراً ومخازنَ للمياه، كما بنى مساكن للعُمَّال والموظفين وحصوناً لصد غارات البدو. ولا تزال بقايا هذه المستوطنات الخاصة بالتعدين باقيةً إلى يومنا هذا (سارتون، 2010م).

بلاد ما بين النهرين

لقد تطور فن التعدين في حضارة بلاد ما بين النهرين منذ عصر السلالة الثاني، فظهر البرونز والذهب والفضة وسبيكة الإلكتروم (مزيج بين الذهب والفضة)، كما صُنعت في عصر السلالات الثالث الفؤوس والقدور وأدوات الزينة كالمشابك والدبابيس (حميد، 2013م).

وعُرفت المعادن في بلاد الرافدين من العصر الحجري - المعدني، إلا أنّ استخدامها لم يبدأ إلا منتصف هذا العصر تقريباً، وأول معدنٍ استخدم كان النحاس، كما تشير إلى ذلك الخرزات التي عُثر عليها في تل الصوان (عصر حسونة). بعدها أخذت المعادن والتعدين تتطور في طور سامراء، إذْ صُنعت منها أنواع مختلفة من الحلي، وقد وثّقت لنا النصوص المسمارية التي تعود إلى سلالة (لكش الثانية) في عصر كوديا، معادن المصنوعات التي كانت معروفةً عندهم وهي البرونز والفضة والذهب (حميد، 2013م).

كانت تترافق عمليات التعدين مجموعة من الطقوس الدينية لاسترضاء الأرواح الخفية التي تسيطر على باطن الأرض. وقد كان المعدنيون في بلاد ما بين النهرين يتحينون الفرص للقيام بعمليات التعدين عند ظهور بعض الكواكب أو النجوم اعتقاداً منهم بوجود تأثيرٍ لها على نجاح العملية (البابا، 2000م).

وكما نعلم فقد تأسست الدولة الآشورية على بنية عسكرية حربية؛ إذْ نراهم طوّروا استخدام الخيول والمركبات الحربية وابتكروا المنجنيق، ونتيجةً لاحتكاكهم مع الشعوب المتحضرة، مثل: الفينيقيين والآراميين والعموريين والميتانيين والحثيين تمكنوا من صنع الأدوات المعدنية النحاسية والبرونزية في

أثناء الألف الثانية ق.م، ثم تعلموا استخدام الحديد في أسلحتهم من الحثيين (سوسة، 1981م).

في الجانب الغربي وعلى ضفاف البحر الأبيض المتوسط، أسست زوجة ملك مملكة أوجاريت نقميبا (توفي 1260 ق.م) الملكة أخت ملكو في قصرها الشمالي في بيروت الأوجاريتية (القرن 13 ق.م) في الغرفة رقم 20 محترفاً لصناعة الأشياء الثمينة، كما خصصت الغرفتين الكبيرتين 17 و 18 لصهر المعادن، وقد استدل الباحثون على ذلك من وجود بقايا المعادن وبلاطة كبيرة من الحجر الكلسي الناعم المثبتة في الأرض والمعدّة كقالب لصب السبائك النحاسية على شكل جلد ثور، وهو القالب الوحيد في العالم المعروف إلى الوقت الحاضر. كما عُثر في الغرفة رقم 29 خامات لحجر اليمان (الكالسيدوني) وكمية من الكوراندوم القاسي جداً الذي يُدقّ ليستخدم في الصقل (الرحال، 2018م).

وبخصوص قوالب الصب المعدنية فقد كان يستخدم حجر ستياتيت (الحجر الصابوني) المعروف بكونه عازل للحرارة، وكان يؤتى به من الخليج العربي. وقد عُثر على قالب لصب المعادن في مملكة أوجاريت (رأس شمرا) يعود لعصر البرونز الحديث (القرن 15–13 ق.م). كان هذا القالب يستعمل لصبّ شريطٍ ذي ثقوب وزخارف كثيرة، يعتقد إنه إكليل (الرحال، 2018م).

يروى أنّ قدموس Cadmus وهو أحد الملوك الفينيقيين هو من نقل صناعة التعدين لبلاد اليونانيين، وهو أول من استفاد من مناجم الذهب والفضة الموجودة في جبال مكدونيا، وكذلك فعل الأمير الفينيقي تاسوس Tassus في الجزيرة التي تقع شمال بحر إيجة، والتي سُمّيت على اسمه، حيث استثمر مناجم الذهب هناك (البابا، 2000م).

وبعد أن سقطت دولة كريت أصبحت قبرص مركز صناعة المعادن في حوض البحر الإيجي، ونظراً لقُرْبها من ساحل بلاد الشام نشأت فيها بعض المستعمرات الفينيقية الأولى (سارتون، 2010م).

أما بخصوص ضبط عمليات وزن المعادن ووحدات القياس التي كانت تستخدم في بلاد الرافدين، فقد كانت الوزنات تصنع من حجر الدم (الهيماتيت Haematite)، أما وحدات القياس فقد استخدمت وحدة (الشيقل البابلي) و (المن)، إذْ كل (60 شيقل) يعادل (1 من بابلي) ويساوي نحو نصف كيلوغرام (حميد، 2013م).

الهنـــــود

تعلم شعب الهند أنّ تسخين الأشياء يزيد من قوة تماسكها، فصنعوا أفراناً ليشووا فيها الآجر الطيني والخزفيات كالقدور والصحون وغير ذلك، ثم ما لبثوا أن اعتمدوا صهر المعادن وتعريضها لعمليات معالجةٍ مختلفةٍ بهدف تغيير أشكالها حسب الطلب، استخرج سكان وادي الهند المعادن كالنحاس والرصاص والذهب والفضة من الفلزات بصهرها، كما تعلموا صنع السبائك من النحاس والقصدير كسبيكة البرونز، كما تعلموا تسخين المعادن إلى درجات حرارةٍ عاليةٍ جداً وصبها في قوالب لصنع أدوات مختلفة (أفندي، 2016م).

الرومانيـــون

كانت أساليب الرومان في التعدين مستمدة من الأتروسكان واليونانيين والمصريين. لكنهم ابتكروا أساليب جديدة في التنقيب، خصوصاً في حفر الأروقة وفتح الممرات والإنارة والتهوية وتصريف المياه والدعم والجر والمسح. وقد

ساعدهم في ذلك الأدوات الحديدية (من مطارق للحجارة ومعاول وأسافين) المطوّرة، وليس مؤكداً أنّ الحديد المصبوب كان معروفاً في روما، مع أنّه كان معروفاً في الفترة نفسها في الصين، ومن المحتمل أنّهم حصلوا عليه من البلدان البربرية في أوربا الوسطى. أما الفولاذ فقد كان معروفاً منذ عدة قرون، ومن المحتمل أن بعض الأماكن كانت تنتج فولاذاً أفضل من غيرها، مثل مدينة كومو، وكانت تُعزى جودة هذا الفولاذ إلى خواص مياه البحيرة الموجودة هناك (سارتون، 2010م).

ونظراً للمساحات الشاسعة التي كان الرومان يحتلونها فقد كان لديهم اكتفاءٌ ذاتيٌ من المعادن، كما أنّ سيطرتهم على طرق الملاحة البحرية مكنتهم من إحضار المواد من أماكن بعيدة بتكاليف منخفضة نسبياً، كما أنّهم كانوا يصدّرون ما يزيد عن حاجتهم من باب الهيمنة السياسية على المستوردين. فقد صدّروا النحاس والفضة إلى ألمانيا كما صدّروا الذهب إلى الهند، لكن مجلس الشيوخ في فترة الجمهورية، حاول أن يضبط وينظم عملية تصدير الذهب، كما أنه منع تصدير الحديد في عصر الإمبراطورية اللاحق، مخافة أن يستخدمه البرابرة لصناعة الأسلحة. في المقابل كان الرومان يستوردون بعض المواد ذات الجودة المرتفعة من بلادٍ بعيدةٍ ليست تحت سيطرتهم، وقد كانوا يدفعون مبالغ كبيرة لنقل هذه المواد الثمينة، مثل الحديد الحريري Seric Iron الذي كان يستورد على الأغلب من الهند وليس من الصين (سارتون، 2010م).

تقنيـــات التعديـــن قديمـــاً

التعدين الهيدروليكي

طور الرومانيون تقنية التعدين المثيرة للاهتمام، وقد أطلق عليها بليني (تحطيم الجبل) Ruina Montium وقد استندت إلى استخدام الماء المضغوط. لتقييم فوائد هذه الطريقة، يجب أن نتذكر أنّ استخراج الذهب من خاماته يصبح مجدياً اقتصادياً عندما يتجاوز تركيز المعدن 0.5 جزء في المليون (أي 0.5 غرام/ طن)، وهذا يعني أنّ الكشف عن صخرة بحجم متر مكعب واحد، ذات قساوة وثبات مختلفين ومن ثم تقطيعها بدقة للحصول على الأكثر على 2.5 غرام من الذهب، وهي قطعة بالكاد تكون أكبر من رأس عود ثقاب. فإذا أخذنا بعين الاعتبار أيضاً الحقيقة بأنّ الصخرة يجب كسرها يدوياً، باستعمال الأزاميل والمطارق الخشبية، وسحبها إلى قيعان الآبار، ومن ثم رفعها عالياً ما لا يزيد عن 30 كيلوغرامات أو نحو ذلك في المرة الواحدة، يمكن للمرء أن يفهم التباطؤ الشديد للتعدين الذي كان في عهدهم، وهناك تصوير واقعي لهذا النشاط تركه لنا ديودوروس الصقلي Diodorus Siculus (توفي 30 ق.م) في الكتاب الثالث [lib. III].

12. على أطراف مصر وفي الأرض المتاخمة بين شبه الجزيرة العربية وأثيوبيا، توجد منطقة تحوي على الكثير من مناجم الذهب الكبيرة، حيث يستخرج الذهب بكميات كبيرة مع الكثير من العمل وبنفقة كبيرة. لأن الأرض مظلمة بطبيعتها وتحوي على ترسبات وعروق من الرخام الأبيض البرّاق على نحو استثنائي، ومن هنا يقوم المشرفون على المناجم بالحصول على الذهب

بمساعدة الكثير من العُمَّال. في الواقع، كان ملوك مصر يحكمون بتعدين الذهب على من تثبت إدانته بجريمةٍ ما وأسرى الحرب بالإضافة إلى أولئك الذين اتهموا بغير وجه حقٍ وألقي بهم في السجن بسبب غضب الملوك، بالإضافة إلى أن مثل هؤلاء الأشخاص – ومن حين إلى آخر – كانوا يأخذون جميع أقاربهم أيضاً، وبهذه الطريقة لا يوقعون العقاب على المجرمين فحسب بل في الوقت ذاته يضمنون عائدات ضخمة من عملهم، أولئك الذين أنزل بهم هذا العقاب، وعدد كبير وكلهم مقيدون بالسلاسل، يعملون بلا توقف ليلاً ونهاراً، دون استراحةٍ ولا مجال للهرب، يراقبهم الحُرَّاس المختارين من بين جنود البرابرة الذين يتكلمون لغة مختلفة حتى لا يتمكن أحد منهم، من خلال المحادثة أو الاتصال الودي، أن يفسد الحُرَّاس للتعاطف معه.

يؤخذ الذهب من الأرض الصلبة في بادئ الأمر عن طريق حرق الأرض بالنار وبعد تفتيتها، يواصلون العمل على الأرض بأيديهم، تسحق الصخرة الطرية التي يمكن جمعها بالقليل من الجهد والتي يهشمها عشرات الآلاف من البؤساء التعساء بالمطارق الثقيلة. يشرف على العملية بأكملها عاملٌ ماهرٌ يميز الحجر ويخرجه إلى الخارج، من بين أولئك المخصصين لهذا العمل في المقالع، أولئك الأقوياء الذين يكسرون الصخر بمطارق حديدية، لا يستخدمون أي مهارةٍ سوى القوة فقط، كما يقومون بحفر الأنفاق في الحجر، ليس بخط مستقيم ولكن أينما تقودهم الصخرة اللامعة. حالياً هؤلاء الرجال، الذين يعملون في الظلام، وبسبب ضيق والتفاف الممرات فإنهم يحملون المصابيح المثبتة على رؤوسهم، في معظم الوقت يغيرون وضع الجسم ليتبعوا خاصية معينة من الصخر، ويرمون بكتل الحجارة إلى الأرض كلما قطعوها، إنهم يعملون في هذه المهام بشكلٍ متواصلٍ ودون توقفٍ، وتحت الجهد وضربات المراقبين.

13. أولئك الذين لم يبلغوا سن الرشد بعد، بحيث يدخلون الأنفاق والدهاليز المتشكلة بفعل إزالة الصخر، يجمعون بشكلٍ مرهقٍ قطع الصخر ويحضرونها للخارج في الفسحة أمام المدخل، ثم يأخذ من هم تحت عمر الثلاثين هذه الحجارة ويسحقونها بمدقات الحديد الهاون بكميات محددة إلى أن يجعلوها أصغر من حجم حبة البيقِيَةُ Vicia (مثل الفول)، ثم يستلم العجائز من النساء والرجال الصخور الصغيرة ويضعونها في المطاحن، التي يوجد عددٌ كبيرٌ منها موضوعة على التوالي، ويأخذون مواقعهم في مجموعات تتألف من اثنين أو ثلاثة عند مقبض كل طاحونة، يطحنون كمية الحجارة المعطاة إليهم حتى تصبح باتساق من أجود أنواع الطحين. وبما أنه ليس لديهم فرصة ليعتنوا بأجسامهم، وليس لديهم ملابس يستروا بها أنفسهم، لا يمكن لرجل أن ينظر إلى هؤلاء البائسين دون أن يشعر بالشفقة عليهم، بسبب القسوة الكبيرة التي يعانونها. في الواقع، لا رحمة ولا احترام يمكن تقديمها لأيّ رجلٍ مريضٍ أو عاجزٍ أو مسنٍ ولا حتى إلى أيّ امرأة حامل، بيد أنهم وبدون استثناء كانوا مكرهين بالضرب ليستمروا بعملهم، إلى أن يموتوا من المعاملة السيئة في وسط تعذيبهم؛ ونتيجةً لذلك، يعتقد الفقراء والتعساء بأنّ عقابهم قاسٍ جداً في الحاضر، ولا يمكن أن يكون المستقبل أكثر خوفاً من الحاضر ولذلك فإنهم ينظرون إلى الموت كشيءٍ يرغبون به أكثر من الحياة بحد ذاتها.

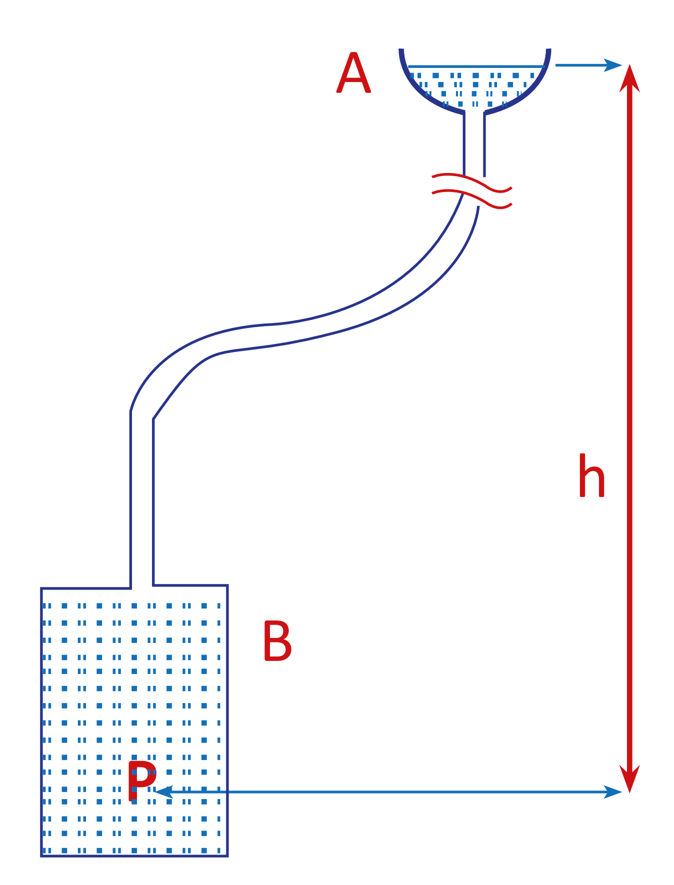
14. في نهاية العملية، يتلقى العُمَّال المهرة الحجارة التي طُحنت وتحولت إلى مسحوق ويكملون معالجتها، إنهم ينخلون الرخام على منضدة مائلة، ويصبون الماء أثناء العمل؛ وعندما يتدفق التراب بعيداً بفعل جريان الماء على مستوٍ مائل، فإن ما يحويه من الذهب يبقى على الخشب بسبب وزنه. ثم يفركون

الحجر بأيديهم عدة مرات، ومن ثم يضغطون برفق بالإسفنج ليزيلوا به أي مادة مسامية أو ترابية، ولا يتبقى سوى تبر الذهب الخالص. أخيراً، يأخذ عامل ماهر آخر ما يُجمع ويضعه بمقياس ثابت ويزنه في جرار طينية، ويمزج معه كمية من الرصاص تتناسب مع الكتلة، وحبيبات ملح والرصاص، أخيراً يضيفون حب الشعير، وبعدئذٍ يوضع غطاء فوق الآنية ومن ثم تُختم بالطين، ومن ثم يطبخ هذا في فرن لمدة خمسة أيام وخمس ليالٍ وفي نهاية هذا الفترة، عندما تبرد الجرار، لا يبقى أي أثر للمادة الأخرى موجود، وإنما يتبقى الذهب الخالص، مع القليل من النفايات».

بغض النظر عن القسوة الواضحة للعمل الجبري في وصف الصقلي، كان هناك مستوىً متدنٍ جداً في الإنتاجية، وهي تفاصيلٌ توحي بالفكر العقلاني للرومان الذين ينقلون النشاط من الأنفاق إلى الهواء الطلق، وهكذا أصبح من الضروري أن يكون الانهيار الجبلي الحامل للذهب تحت ثقله، أو الانفجار الداخلي، وذلك باستعمال وسائل خطرة جداً في حروب الحصار: مثل الألغام، ومن الواضح أنّها ليست متفجرة (Rossi et al., 2009).

تقنيــــة «تحطــيم الجبــل»

تُعرف هذه التقنية أيضاً ببرميل باسكال، ويبين الشكل مخطط عملها باختصار، إذا كان الخزان العلوي A، عند الضغط الجوي، مرتبطاً بالخزان السفلي B بواسطة صمام، والضغط المائي في الخزان السفلي B هو $P = h \times d \times g$ ، حيث h هو فرق الارتفاع بين الخزان العلوي والخزان السفلي، وd هي الكتلة لكل وحدة حجم من السائل، وg هي تسارع الجاذبية.



مبدأ تقنية برميل باسكال (Rossi et al., 2009)

قد تبدو الظاهرة متناقضة: فإذا كان الخزان السفلي برميلاً، أمكن كسره بسهولة عن طريق أنبوب صغير (بغض النظر عن قطره لكن يهمنا طوله فقط)، ومتوضّع بشكلٍ عمودي، ومرتبطٌ به ومليءٌ بالماء.

يمكن وصف استخدام تقنية «تحطيم الجبل» عملياً كما يأتي: يحفر عمال المناجم العديد من الأنفاق الضيقة جداً والمتقاربة في موقع واحد حيث إنهم يحفرون أيضاً تجويفاً كبيراً. كانت سمة هذا التجويف أنّ أحد جدرانه الطويلة كان قريباً بما يكفي من السطح الخارجي للجبل، ربما عشرة أمتار على الأكثر، وعلى ارتفاعٍ معتدلٍ عن سفح الجبل. مع انتهاء الأعمال، التي استعادوا من خلالها أيضاً المعدن المستخرج، (أي عمل التنقيب الذي ينتج ربحاً) وشرعوا في فتح مصارف الحوض العلوي الكبير الذي مُلئَ باستعمال أنابيب ماء مركبة مسبقاً والتي توجه لاستخدامها مرات عديدة ولا تزال، للقيام بإجراءات أخرى. كانت الأنابيب، التي يتراوح طولها بين 1 إلى 2 متر مربع ومائلةً قليلاً، وهي تشبه (مع أنها أغلظ كثيراً من) الأقنية الرومانية، مع وجود بعض الأقسام في الدهاليز وأخرى على الجسور التي تجري على طول جانبي الجبال القريبة أحياناً حتى مئات الكيلومترات.

عندما تكون سدادات الماء مفتوحة، يتدفق الماء إلى التجويف ويملأه بسرعة. عندما يمتلئ، يتسبب الفرق في المستوى بين ارتفاع المقدمة والتجويف بأن يكون الضغط متساوياً في جميع نقاط التجويف. بعبارةٍ أخرى، إذا كان الفرق في المستوى بالكاد 10 أمتار، فإنّه يحدث ضغطاً متوسطاً داخل التجويف بشكل تقريبي 10^5 باسكال، أي أنّ كل متر مربع لسطح التجويف سيكون له قوة تقريبية

تعادل 10^5 نيوتن. بالنظر لسهولة الحساب في تجويف مكعب يبلغ طول ضلعه 10 أمتار لكل جانب يساوي مساحة سطح قدرها 600 متر مربع، فإنّ الدفع الكلي هو 60 ميغا نيوتن (6000 طن)، وهي قوة كانت أكثر من كافية لكسر جدار صخري بسماكة 10 أمتار، ممزقةً إياه كل ممزق وجاعلةً إياه يتناثر في الهواء. كانت كتلٌ كبيرةٌ من الحجر، وبسمك متساوٍ إلى القوة المطبقة تنطلق مثل سدادة الفلين، مما يجعل الجبل بأكمله يفقد استقراره وينهار بطريقة مشابهة جداً إلى التأثيرات التي يسببها المنجم (Rossi et al., 2009).

كان بليني الأكبر، غايوس بلينيوس سيكوندوس Gaius Plinius Secundus (توفي 79م)، وكيل إسبانيا السابق، وهي منطقةٌ غنيةٌ بالمعادن، قدم الوصف الآتي نحو منتصف القرن الأول للميلاد (21, bk. XXXIII): «الطريقة الثالثة للحصول على الذهب تتفوق على عمالقة العُمَّال، حيث تُحفر الجبال التي نُقّب عنها على ضوء المشاعل، وكان تحديد أوقات الاستراحة والعمل لعدة شهور لا يرون ضوء النهار، هذه التنقيبات تدعى الغطاء Aarrugie. حيث تسقط أنفاقها غالباً ويُدفن المنقبين إلى درجة أنها أقل خطراً من البحث عن اللآلئ في قاع البحر، ولكننا جعلنا الأرض خطرة جداً. غالباً ما تترك الأعمدة السميكة لدعم الجبل المغطّى. في التعدين إما عن طريق العمود أو الدهليز، وعوائق السيليكا المجتمعة، التي يجب أن تتحطم باستعمال النار أو الخلّ، لكن في كثيرٍ من الأحيان، بما أنّ الأدخنة والأبخرة قد تخنق المنقبين في مداخل المناجم تلك، تكسّر هذه التشكيلات باستخدام مطارق حديدية تزن 150 رطلاً [45 كغ] وتحمل الشظايا على أكتاف العُمَّال، كلّ رجلٍ يمررها على جاره في الظلام، حتى تصل عند ذاك الواقف في النهاية الذي يرى الضوء. وإذا كان التشكيل طويلاً

جداً، فإنهم يكسرونه من الجوانب ويحفرون حوله. ومع ذلك، يُعتبر التقيب في هذه الصخور أيسر. في الواقع، يوجد نوع من التراب، ونوع من الطين الممتزج بالحصى (يدعى الفطر الأبيض) يكاد يكون من المستحيل كسره، حيث إنه يدكّ بأسافين من الحديد والمطارق، ويُعتقد أنه لا يوجد شيء أقسى منه ربما ما عدا الطمع بالذهب. عندما ينتهي العمل، فإنهم يدمرون الأعمدة، ويبدؤون بالأخير. السقوط القادم يدركه الحارس الذي يراقب في قمة الجبل. وعن طريق الصوت والإشارات يأمر عُمَّال المناجم بأن يتركوا الأنفاق ويلوذوا بالفرار وينجون بأنفسهم. ينهار انشقاق الجبل تحت وطأة وزنه مع تحطم وحركة الهواء التي لا يمكن لعقل بشري أن يتخيلها. يحملق عُمَّال المناجم إلى هذا الانهيار في الطبيعة كشاهدين. مع هذا، لا يوجد ذهب، ولا يعرفون إن كان يوجد عندما كانوا يحفرون. لتدارك مثل هذه الأخطار كان يكفي أن يكون لديهم أملٌ بالحصول على ما يرمون إليه».

كان الحل المثالي هو استعمال الألغام المتفجرة. وقد وفّر ضغط الماء هذه الإمكانية، لأنّه باستخدامها بشكلٍ صحيح، أصبح الماء في الحقيقة يُعرف بالألغام المائية. كانت هضبة لاس ميدولاس في إسبانيا ذات طبيعة جيولوجية خاصة ومثالية لممارسة هذه الطريقة الخاصة. كان من الواضح أنّ نسبة الذهب أقلّ من الكمية المذكورة في البداية، مما أدى إلى إحباط أيّ إمكانيةٍ للعمل في النفق، هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى، فإنّ الصلابة النسبية للصخر كانت ستعزز من نتائج الألغام المائية. كل ما كان مطلوب هو إحضار كمياتٍ كبيرةٍ من الماء إلى الارتفاع الصحيح.

لقد قدم بليني وصفاً دقيقاً لهذه التقنية التي تزودنا بتفسيرٍ مفصّلٍ عن أصل المشهد القمري الطبيعي للاس ميدولاس (21, bk.XXXIII): «يوجد عملٌ آخر مساوٍ لهذا العمل يستلزم نفقات أكبر، لأنّه لتحقيق هذا الخراب في الجبال، يجب عليهم أن يجلبوا الأنهار من مرتفعات الجبال لجرف الحطام، وغالباً من مئات الأميال».

بدأت تظهر أقنية التغذية التي تكلم عنها بليني، وهو شاهدٌ موثوقٌ، في بعض الأحيان امتدّ لأكثر من 100 كم. وحقيقةً كان من المستحيل العثور على الماء في مثل هذه المنطقة المعدنية الجافة والمجدبة.

«تدعى هذه Corrughi، أعتقد أنها مأخوذة من كلمة Corrivatio (أعمال الأرض)، وبالتأكيد تتطلب عملاً كبيراً، يجب أن يكون السقوط شديد الانحدار حتى يترسّب الماء بحيث يمكنه إزالة الحطام من أعلى النقاط ارتفاعاً».

في إشارته لوزن السقوط، قدم بليني مفهوم ضغط الماء بشكلٍ غير مناسبٍ، ولكنه ليس مخطئً. بكلمات أخرى، كان عليهم أولاً أن يقيموا ضغط الماء، أو الفرق في المستوى، ومن ثم المضي نحو إنشاء شبكات القنوات المطلوبة لجلب الماء.

لو كانت هناك وديان أو أخاديد، لكانوا رفدوها بالقنوات التي حفروها. في بعض الأماكن كان عليهم أن يقطعوا الصخور لإفساح المجال من أجل الأنابيب أو القنوات، وقد أُنجز ذلك بتعليق العُمَّال بالحبال، وأي أحد يراهم من بعيد يعتقد أنهم كانوا يشبهون الطيور. وبالتالي، فإنّهم كانوا يعلقون ليأخذوا المقاييس وخطوط تتبع مسار الماء حتى عندما يكون هناك موطئٌ لأقدامهم.

كان الطريق يُدرس بعنايةٍ ولأسبابٍ جليةٍ يمتد على طول جوانب الجبال التي أقيمَ عليها، فقد كان أقرب بكثيرٍ لقممها من المنحدرات، لا يمكن لعمل الفرق أن يستمر قدماً إلا بتسخير الرجال. وهكذا يتعقبون الاتجاهات التي يجب اتباعها، ومع الميل المناسب وإعداد المخططات على الموقع. «كانوا يختبرون التربة بأيدهم لمعرفة ما إذا كانت ناعمة أو صلبة بما يكفي لدعمها بالعوارض. هذا النوع من التربة يدعى اليوريوم Urium. كانوا يحملون الماء فوق الحجارة والحصباء ويتجنبون اليوريوم. يصنعون عند قمة السقوط خزانات هائلة عند حافة الجبل تماماً، يبلغ طولها مئتي قدم طولاً وعرضاً [60× 60 متر] وبعمق عشرة أقدام، ثلاثة أقدام [إجمالي سعة مكعب تبلغ 5.400 سم]. وكانوا يضعون في هذه الخزانات خمسة سدود، نحو ثلاثة أقدام مربعة ويفتحون بوابات المياه مجرّد امتلاء الخزان، حيث ينسكب الماء خارجاً بهذه القوة مدحرجاً شظايا الحجارة ... وبسبب هذا حققت إسبانيا فوائد جمَّة».

كان التفسير الذي قدمه بليني نموذجياً رومانياً وقريباً جداً، السمة الأكثر وضوحاً هي بالتأكيد صحيحة: كان من المستحيل عدم رؤية تلك الأحواض الهائلة، التي تتجاوز مساحتها 6000 متر مربع تقريباً، وتغذيها شبكة قنواتٍ طويلةٍ جداً. ولكن عندما تُفتح الصمامات، أين يذهب الماء؟ بالتأكيد ليس أسفل منحدرات التل، حيث يكون عنيفاً كما لو أنه لم يسبب حطام كبير، ولا يُصرّف في شبكة الأقنية المفتوحة، وفي هذه الحالة وفي غضون بضع ساعات قليلة كان كل شيء قد عاد كما كان من قبل. لقد ذهب في الدهاليز التي حُفرت سابقاً، وكلها تتجه نحو جانب الجبل ولكن دون مخارج. الدهاليز التي لا مخارج فيها والتي انتهت بنوع من غرف التجميع، كانت القوة المائية تعادل حجم

غرفة الاحتراق في المناجم. هذه الغرفة، التي يمكن أن تكون دهليزاً يسير على التوازي بجانب الجبل، لكن يمتلئ داخله بنحو 10 أمتار، بسرعة بالماء مجرّد فتح السدود، ليصل إلى الضغط ذاته مع فرقٍ في المستوى، وعندما يصبح الهواء مضغوطاً لأنه لم يعد يتدفق خارجاً، وعندما يصل الضغط على الجدار الداخلي للغرفة إلى قيمة أعلى تماماً من مقاومة الصخر، يتشقق الصخر بعنف على الفور، هادماً المنحدر فوق دعائمه. تسبب وزنه في تلك المرحلة في انهيار المنحدر، ونظراً للمقاومة الضعيفة لسحب الصخر، المتزامنة مع سحبٍ عمودي، وبالتالي منح القطع خصائصه العمودية التي يمكن تمييزها بسهولة، في هذه الحالة كان الضجيج الهائل وحركة الهواء التي أثبتها بليني بالفعل أكبر. عندما انهار الجبل، طُرد الهواء المضغوط ضمن التجويف على الفور، بالتزامن مع حركة الهواء الناتجة عن الكتل الصخرية المنهارة، الأمر الذي تسبب بتلك العاصفة العنيفة التي ذكرها بليني.

نظراً لأنّه كان هناك حاجة إلى جزء متواضع فقط من نحو 6000 متر مربع من الماء المتجمع لإنتاج انفجار داخلي، مجرد أن ينفتح جانب الجبل، فإن بقية المياه تتدفق بعنف من الدهاليز نحو الخارج، وهي تسحب بشكل مهول كل قطع الصخر المكسورة. وعندما تضرب هذه القطع الجدران فإنها تسبب تآكلها بشكلٍ أكبر، مما يجعلها أوسع، وهي تسحب نحو الأسفل كتلة كبيرة من الصخر المزقة أكبر من تلك الناجمة عن الانفجار. يحدث الأمر كله خلال بضع دقائق، وتتراكم هناك كمية من الصخر تحتاج عدة سنوات من العمل والنشاط، وفي تلك المرحلة يقتصر الأمر على الطحن والانتقاء.

أهملت هذه التقنية خلال عصر النهضة. على سبيل المثال: نُفذت أعمال الهدم لفتح الفجوات في جدران العدو عن طريق حفر تجاويف تحت الأرض، وهي التي دُعمت فيما بعد. كان الانهيار ببساطة سببه إشعال النار في الدعائم الخشبية.

تصوّر مارينو دي جاكوبو Mariano di Jacopo والمعروف بتاكولا Taccola، وصمّم استعمال براميل البارود الموجودة أسفل الدهليز. بعد سنواتٍ قليلة، طبق جيورجيو مارتيني (توفي 1501م) Giorgio Martini هذا المفهوم للهجوم على جناح قلعة كاستيلنوفو، التي تدعى أيضاً: «ماساشيو أنجيونو» في نابولي نحو عام 1494م. من ذلك اليوم فصاعداً أصبحت كلمة الألغام مرادفة للانفجار (Rossi et al., 2009).



تقنيات التعدين عند العرب والمسلمين

لا شك بأنّ العرب ورثوا ما تعلموه من مبادئ وتقنيات في مجال التعدين عن الحضارات السابقة الأقدم منهم، فقد تعلم الأنباط كيفية استغلال مناجم الحديد والنحاس الموجودة في منطقة (أدوم)، والأنباط هم القبائل العربية التي هاجرت من شبه الجزيرة العربية منذ القرن 6 ق.م واستوطنوا البادية التي تقع شرقي الأردن حالياً، وقد اتخذوا من البتراء عاصمةً لهم التي بلغت ذرة ازدهارها في القرن 4 ق.م، ولبراعتهم في الصناعات المعدنية انتقلت مصنوعاتهم النحاسية والحديدية، إضافة إلى المصنوعات اليونانية والشامية إلى اليمن (سوسة، 1981م). سنورد فيما يأتي أهم مصادر المعرفة العربية بعلم المعادن والتعدين:

تكلم ديسقوريدس Discorides (توفي 60م) في (كتاب الحشائش) على أكثر من 600 مادة. وقد خصص منها 100 معدن (في المقالة الخامسة) (قنواتي، 2017م) ذات منافع طبية، منها الكبريت والريالغار والأوربيمنت والزئبق والرصاص والزنك والنحاس والحديد (الفضلي، والسبتي، 1984م).

1. كتاب (المعادن) لجابر بن حيان (توفي 200هـ/ 815م)، الذي نُسب خطأً إلى جاردلانديوس، وقد صحح يوليوس روسكا ذلك ضمن تحقيق كتاب (الزاج والأملاح) الذي نشره في برلين عام 1935.

2. للكندي (توفي260هـ/ 873م). رسائل عن المعادن ومعالجتها (الأهواني، 1964م):

أ - رسالة في أنواع السيوف والحديد.

ب - رسالة فيما يُطرح على الحديد والسيوف حتى لا تنثلم ولا تكلّ.

رسالة الكندي (في أنواع السيوف والحديد) مشهورةٌ كثيراً نظراً لكونها أول مرجع عربي يتناول صناعة السيوف في البلاد العربية والإسلامية، وقد اكتشفها ولخصها البارون بورغستال سنة 1854م، ونشرها في المجلة الآسيوية، ثم حققها ونشرها عبد الرحمن زكي في مجلة كلية الآداب، جامعة فؤاد الأول، عام 1952م (البابا، 2000م).

3. كتاب (محن الذهب والفضة)، و(علل المعادن)، **أبو بكر الرازي** (توفي 313هـ / 925م).

4. (الجوهرتين العتيقتين المائعتين الصفراء والبيضاء - الذهب والفضة)، **ابن الحائك الهمداني** (توفي 334هـ/ 945م). وقد حققه **كريستوفر تول** وطبع في أوبسالا في السويد عام 1968م. كما أعاد تحقيقه أحمد فؤاد باشا ونشره في القاهرة عام 2009م، مركز تحقيق التراث في دار الكتب والوثائق القومية.

5. كتاب (كشف الأسرار العلمية في ضرب النقوش المصرية) **منصور بن بعرة الذهبي الكاملي** (عاش في القرن 7هـ/ 13م).



نظريات نشأة المعادن

التعدين من الحرف العربية القديمة، وقد كان يسمّى من يعمل فيها بالمعدِّن وهو يقوم باستخلاص المعدن من الصخر، وقد بلغ النشاط التعديني القديم في شبه الجزيرة العربية ذروة ازدهاره فترة حكم الملك سليمان خلال القرن 8 ق.م (عبد النبي، 2009م). كان المعدّنون العرب يدركون أهمية التهوية في المناجم التي يحفرون فيها (عبد النبي، 2009م). كما أنّ العرب كانوا يعرفون الفحم الحجري ويستخدمونه في عمليات التعدين واستخدموا كذلك الأخشاب. وقد كان مصدر الفحم الحجري يأتيهم من ناحية أسبرة التي تقع بأقصى بلاد الشاش بما وراء النهر، وهو ما أكده الجغرافي ياقوت الحموي (توفي 626هـ / 1229م) والجغرافي إبراهيم بن محمد الفارسي الإصطخري (توفي 346هـ / 957م). حيث قال الحموي: «فيها «أسبرة» جبل، سود حجارته تحترق كما يحترق الفحم، يباع منها حمل بدرهم وحملان، فإذا احترق اشتد بياض رماده؛ فيستعمل في تبييض الثياب ولا يعرف في بلدان الأرض مثل هذا» (الحموي، 1995م).

حاول العلماء والمفكرون تفسير نشأة المعادن ومحاولة فهم سبب نشأتها وفق أُسس عقلانية ومنطقية، وقد برز من الناحية التاريخية في هذا المضمار كلٌّ من الفلاسفة اليونانيين والعلماء العرب والمسلمين.

اليونانيون

لا تتميز المعادن والأحجار الكريمة -وفق النظرية اليونانية- عن بعضها بعضاً إلا من خلال خصائصها الخارجية، وبشكلٍ خاص من خلال لونها، حيث إنّ تغيير اللون يعني تغيّر المعدن (قنواتي، 2005م).

فقد كان أفلاطون يعتقد أنّ المعادن عبارة عن مياه لا تنصهر، ووصف الذهب بأنه معدنٌ كاملٌ، والمعادن الأخرى مثل الذهب لكنها غير نقية (كوب، ووايت، 2001م). كما وضع أرسطو نظريته عن تشكّل المعادن في كتابه (الآثار العلوية)، وكان يعتقد أنّ المعادن تتشكل نتيجة اختراق أشعة الشمس لباطن الأرض، التي تعمل على توليد الأبخرة من الصخور، أما الجزء البعيد عن تأثير الأشعة فتكثر فيه المائية ويصبح ذهباً. وقد يكون أرسطو بقوله بمنشأ المعادن من عنصر الماء متأثراً بالفكرة التي طرحها تاليس حول منشأ المواد كلها من الماء (هميمي، 2002م). وقال أرسطو بأننا إذا استخرجنا المعدن الموجود في منجم، ثم تركنا المنجم فترةً من الزمن، فإنه يمتلئ بالمعدن من جديد (فروخ، 1970م).

وقد اتفق أرسطو مع أفلاطون بأنّ المعادن القابلة للانصهار هي مواد شبيهة بالماء، حيث إنّ هذه المعادن والماء تملك صفات مشتركة وتختلف عنه بصفاتٍ أخرى. وهذا يعني أنّ كلاً منهما صنّفا الماء مع المواد الجامدة، واعتبرا أنّه لا يسيل إلا بفعل النار كما هو حال المعادن. وقد حافظ علماء اليونان على هذه النظرية الغريبة وامتد أثرها إلى بعض علماء العصور الوسطى (أفلاطون، 2014م).

كما ذكر أرسطو أنّ المعادن واحدةٌ في النوع، وهي تختلف عن بعضها بعضاً ليس في ماهيتها وإنما في أعراضها أي خواصها. وهو يعتقد أنّه يمكن انتقال أحد المعادن إلى الآخر؛ فإذا كان العَرَضُ مختلفاً سهل الانتقال، وإن كان العَرَضُ ذاتياً صَعُبَ الانتقال، ويعتقد أن الانتقال بين الذهب والفضة سهل جداً نظراً لاختلاف الأعراض الذاتية بينهما (الشكري، 1979م).

وقد ذكر الكندي أن أرسطو خصَّص الكتاب الخامس من كتب الطبيعة بعنوان (كتاب المعادن)، حيث وضح فيه كيفية تكونها في باطن الأرض وخواصها والأماكن الخاصة بها (الكندي، 1950م). وقد كان ثيوفراسطوس يعتقد - مثل أستاذه أرسطو- أن منشأ المعادن عنصر الماء، أمّا الصخور والأحجار الكريمة فمنشؤها عنصر الأرض نفسه، وقد اتفق معه لاحقاً الروماني سينيكا في كتابه (الأسئلة الطبيعية) (هميمي، 2002م).

الصينيون

كان أتباع الفلسفة الطاوية في الصين (القرن 5 ق.م) يعتقدون أنّ كل المعادن والفلزات ذات منشأ واحد، ولكنها تختلف عن بعضها بعضاً حسب كمية الين واليانغ. حيث إنّ اليانغ يرمز إلى العنصر الذكري - الشمس، وهو موجب وفعَّال بشكل ناري، من خواصه: الحياة والنور والدفء والرطوبة. أما الين فهو عنصر أنثوي – القمر، وهو سالبٌ وأرضيٌ وثقيلٌ، من خواصه: الموت والظلام والبرودة والجفاف (كوب، ووايت، 2001م).

العلماء العرب والمسلمون

خالف جابر بن حيان (توفي 200هـ/ 815م) إنبيدوقليس Empedocles (توفي نحو 434 ق.م) وأتباعه من اليونانيين والمسلمين القائلين بتكوّن المواد من أربعة عناصر أساسية: التراب وطبيعته اليبوسة، والماء وطبيعته الرطوبة، والهواء وطبيعته البرودة، والنار وطبيعته الحرارة، وأنّه تختلف المواد في بنيتها حسب اختلاف نسب اجتماع هذه العناصر، حيث إنّ جابراً اعتمد نظريته (الزئبق والكبريت) في تفسير خواص المواد من ناحية تبلورها وانصهارها وتأكسدها (صبحي، 1997م).

وبذلك فإنّ جابر أراد أن يعمم عنصر كيميائي حقيقي (رمّزه بالكبريت) وآخر (رمّزه بالزئبق) هو من تكون له الفاعلية في تشكيل المواد، وليس تلك العناصر وطبائعها الافتراضية، وقد استخدم لفظ «الزئبق» للدلالة على الحالة السائلة، واستخدم لفظ «الكبريت» للدلالة على الاحتراق، حيث إنه استخدم الزئبق كونه يحتوي على عنصري الماء والتراب، والكبريت كونه يحتوي على عنصري النار والهواء، وبذلك تكون المادتان معاً قد احتوتا على العناصر الأربعة وكيفياتها.

وقد اعتقد جابر أنّه بهذه النظرية سيتمكن أيّ كيميائي من الحصول على طيفٍ واسعٍ من المعادن والمواد. فإذا أردت الحصول علىٍ الذهب الإبريز ما عليك إلا استخدام الزئبق والكبريت النقيين، ووفق النسب الأفضل، ودرجة الحرارة المعتدلة. فإذا انخفضت حرارة المعدن وسط عملية الدمج تولّدت الفضة البيضاء، وإذا تعرّض المزيج لحرارة شديدة تولّد النحاس الأحمر، وإذا انخفضت الحرارة قبل اتحاد أجزاء الزئبق والكبريت تولّد الرصاص القلعي

(القصدير الأبيض)، وإذا تعرّض المزيج للبرودة وغلبت المواد الترابية على المزيج، تولّد الحديد. وإن كان الكبريت أقل والزئبق أكثر، والحرارة ضعيفة تولّد الأُسْرُب (الرصاص الأسود الرديء)، وإن زادت الحرارة أكثر على هذا المزيج تولّد الكحل... وهكذا

إذاً فقد جعل جابر من الزئبق والكبريت مبدأين للفعل ورد الفعل أو تفاعل المواد مع بعضها بعضاً، كما أن وجود تأثيرات سماوية مناسبة في الوقت المناسب هما المسؤولان عن وجود كل معادن الطبيعة (مفلح، 2014م).

وسنجد أن نظرية جابر ستكون معتمدةً لاحقاً مع بعض التعديل سواءٌ من قبل العلماء العرب أو الأوربيين. فمن العلماء العرب نجد ابن وحشية النبطي (توفي 296هـ/ 909م) (ابن وحشية، مخطوطة نور سليمانية، رقم (3631)، ص 90و91–و)، ومؤيد الدين أبو إسماعيل الحسين بن علي المعروف بالطغرائي (توفي 513هـ/ 1121م) (الطغرائي، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006)، ص 51و)، وابن تومرت الأندلسي (توفي 524هـ/ 1130م) (ابن تومرت، 1999م)، وأبو القاسم محمد بن أحمد العراقي (نحو 580هـ/ 1184م) (العراقي السيماوي، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة نور عثمانية، إستنبول، رقم (3633)، ص 7و7–ظ)، وأثير الدين المفضل بن عمر بن المفضل الأبهري السمرقندي (توفي 663هـ / 1264م) (الأبهري، 2019م)، وعز الدين أيدمر عليّ الجلدكي (توفي بعد 760هـ/ بعد 1360م) (الجلدكي، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة نور عثمانية، إستنبول، رقم (3633)، ص 220ظ221–و)، والإمام فخر الدين الرازي (توفي 606هـ/ 1209م) (الرازي، مخطوط ضمن

مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006)، ص 76و)، وكذلك السيد الشريف البخاري تأثر بنظرية جابر في الزئبق والكبريت في تشكل المعادن (البخاري، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006)، ص 11ظ).

أما العلماء الأوربيون الذين تأثروا بنظرية جابر بن حيان فهم: باراسيليوس (توفي 1541م) Paracelsus، الذي أضاف عنصر الملح للكبريت والزئبق، ويان بابتست فان هيلمونت J. B. van Helmont (توفي 1644م) ، كما نلمح امتداد تأثير جابر على روبرت هوك R. Hooke (توفي 1703م) عندما تحدث عن «جزيء كبريتي» يساعد في عملية الاحتراق، وهو ما سيطلق عليه لاحقاً الأكسجين (مفلح، 2014م).

أما عن تشكل المعادن في باطن الأرض فقد عدّل جابر نظرية أرسطو التي تقول إنها تنشأ عن امتزاج عنصرين: أحدهما بخارٌ مائيٌ (جسيمات صغيرة من الماء في طريقها لتصبح هواء) والآخر دخانٌ أرضيٌ (جسيمات صغيرة من الأرض في طريقها لتصبح ناراً) (كوب، ووايت، 2001م). حيث انطوى تعديل جابر على أنّ تكاثف هذين العنصرين ينتج عنه الزئبق والكبريت، ومن اتحادهما بنسبٍ مختلفة تتكون المعادن المختلفة. ففي حالة الفضة يكونان متساويين في الوزن، أما في حالة الذهب فيكون بينهما اتزان مطلق، وهكذا (الشكري، 1979م).

ويبدو أن ابن سينا (توفي 428هـ / 1037م) قد تبنى نظرية جابر بن حيان في تشكل المعادن في باطن الأرض من الكبريت والزئبق، ولم يتبن نظرية أستاذه أرسطو في العناصر الأربعة. وهذا تغير لافت للنظر، فالمعروف عن ابن سينا اتّباعه لأرسطو في كل نظرياته التي تفسّر الظواهر الطبيعية، لكن ابن سينا هنا

ربما وجد أن نظرية جابر مقنعة ومنطقية أكثر من نظرية أرسطو (ابن سينا، 2012م).

كما أشار ابن سينا في كتاب الشفاء إلى ظاهرةٍ طبيعيةٍ تتسبب بتشكيل النصول المعدنية في الصحراء عقب حدوث الصواعق، وهو ما اكتشفه الفرنسيون في خمسينيات القرن العشرين (الهاشمي، 1965م). كذلك فقد ناقش الحسن بن مثويه (توفي 469هـ / 1076م) سبب ليونة الحديد عند تعرّضه للنار، وقد وجد أنه يعود إلى فقدانه للعناصر اليابسة منه بقاء الأجزاء الرطبة، ويرى أن هذا هو السبب في حدوث انصهار المواد. قال ابن مثويه: «العلة التي لها يلين الحديد بالنار أنها تذهب بأجزاء يابسة عن الحديد. وإن كان لا يمتنع ذهاب أجزاءٍ رطبةٍ فيما بين ذلك، فتبقى الأجزاء الرطبة ويظهر فيها اللين. وعلى مثل هذه الطريقة يذوب القار وهذه الفلزات أجمع بالنار، لأنها تذهب عنها أجزاء يابسة فتصير مانعة لبقاء الأجزاء الرطبة. فإذا صفعها الهواء، عادت إلى حالها الأولى» (ابن مثويه، 1975م).

آلات التعدين عند العرب

صنف لنا محمد بن أحمد بن يوسف الخوارزمي (توفي 387هـ / 997م) ما كان يعرفه من آلات تستخدم في مجال المعادن والتعدين عند العرب حتى القرن العاشر للميلاد. حيث قال: «ومن آلاتهم آلات معروفة عند الصاغة وغيرهم من أصحاب المهن كالكور والبوطق والماشق والراط والزق الذي ينفخ وهذه كلها آلات التذويب والسبك. والراط هو الذي يفرغ فيه الجسد المذاب من فضة أو ذهب أو غيرهما ويسمى: المسبكة وهي من حديد كأنها شق قصبة.

الموقد: شبه تنور لهم.

الطابستان: كانون شبه كانون القلائين.

نافخ نفسه: تنور يكون له أسفل على ثلاث قوائم مثقب الحيطان والقرار، وله دكان من طين يوقد ويوضع عليه الدواء في كوزٍ مطيّن في موضع تصفقه الريح.

الدرج: شبه درج من طين يوقد عليه ويعالج به الأجساد» (الخوارزمي، 1989م).

وأوعية صهر المعادن الصغيرة التي تستخدم من قبل الصاغة هي: **البوطة والبودقة والبوتقة**، أما وعاء صهر المعادن الكبيرة فكان يسمى **بالمصهر** (موسى، 1990م).

عمليات التعدين

مارس العرب عدداً من العمليات لمعالجة الخامات واستخراج المعادن منها. نورد فيما يأتي تعريفاً بها:

- «التقطير: هو مثل صنعة ماء الورد وهو أن يوضع الشيء في القرع ويوقد تحته فيصعد ماؤه إلى الأنبيق وينزل إلى القابلة ويجتمع فيه.
- التصعيد: شبيه بالتقطير إلا أنه أكثر ما يستعمل في الأشياء اليابسة.
- الترجيم: جنس من التصعيد.
- التحليل: أن تجعل المنعقدات مثل الماء.
- المعقد: أن يوضع في قرع ويوقد تحته حتى يجمد ويعود حجراً.
- التشوية: أن يسقي بعض العقاقير مياهاً، ثم يوضع في قارورة أو قدح مطين، ويعلق بآخر ويشد رأس القارورة ويجعل في نار إلى أن يشتوي.
- التشميع: تليين الشيء وتصييره كالشمع.
- التصدئة: من الصدأ مثل ما يعمل في صنعة الزنجار.
- التكليس: أن يجعل جسد في كيزان مطينة ويجعل في النار حتى يصير مثل الدقيق.
- التصويل: أن يجعل الشيء الذي يرسب في الرطوبات طافياً. وذلك أن يصير مثل الهباء حتى يصول على الماء والشيء يكلس ثم يصوّل.

- **الألغام**: أن يسحق جسد ثم يخلط مع زئبق يقال: ألغمته بالزئبق. والنغم.
- **الإقامة**: أن يصير الشيء صبوراً على النار لا يحترق.
- **طين الحكمة**: أن يخمر طين حر ويجعل فيه دقاق السرجين وشيء من شعر الدواب المقطع.
- **ملح الإكسير**: هو الدواء الذي إذا طبخ به الجسد المذاب جعله ذهباً أو فضة أو غيره إلى البياض أو الصفرة» (الخوارزمي، 1989م).

تأثير علم المعـــادن العربي على أوربـــا

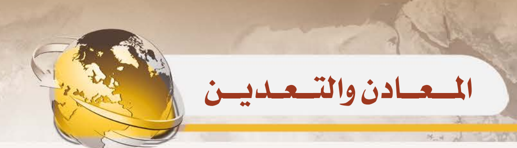
اعترافاً بتأثير علم المعادن العربي على أوربا قال المؤرخ آدمز: «كان لعلم المعادن العربي أثرٌ مهم في تطور علم المعادن في أوربا في وقت لاحق». فقد استفاد من أعمال العرب في علم المعادن كلٌّ من الألماني ألبرت الكبير Albert the Great (توفي 1280م) والإيطالي رستورو داريزو R. d'Arezzo (كان حياً في القرن 13م) في كتابه (طبيعة العالم) الذي ألفه عام 1282م، من أعمال ابن سينا والفرغاني وابن رشد، خصوصاً الترجمات اللاتينية (حسن والنقاش، 1980م).

من ناحيةٍ أخرى فإنّ التيفاشي قد سبق كلاًّ من إيراسموس ستيلا E. Stella (توفي 1521م) الذي يعد أول من درس المعادن والأحجار من الأوربيين عن طريق فحص خصائصها الفيزيائية، وكاميلوس أيوناردوس K. Eonardos الذي صنَّف المعادن حسب ألوانها، كما سبق الألماني جورج أغريكولا G. Agricola (توفي 1555م) الذي يدعى «بأبي علم المعادن» (حسن والنقاش، 1980م). ونرى بضرورة أن يعاد النظر بهذه الأبوّة بعد أن تأكد لنا في هذا العمل أسبقية العرب والمسلمين عليه في تأسيس علم المعادن.

بعد أغريكولا يأتي الروسي ميخائيل لومونوسوف M. Lomonosov (توفي 1765م) الذي قال بهجرة المعادن من مكان إلى آخر، أو ما يسمى بالدورة الجيوكيميائية للعناصر والمعادن، بعدها قام السويدي جون جاكوب بيرزيليوس J. J. Berzelius (توفي 1848م) بتحليل المعادن كيميائياً وتصنيفها، وتوّج عمل

الاثنين ديميتري مندلييف D. Mendeleev (توفي 1907م) بوضعه عام 1869م للجدول الدور للعناصر الذي أتاح إمكانية استكشاف عناصر لم تكن معروفةً للبشرية من قبل (عوض الله، 1980م).

لقد بيّن شيارا كريسياني Chiara Criscini بشكلٍ جلي، أنّ المعرفة العربية العلمية في الكيمياء تعتبر بالنسبة للغرب مجالاً جديداً يعد بالكثير من القيام بالتطبيقات في القرون الوسطى. حيث إنها تكمّل المعرفة عن عالم المواد المعدنية التي ورثها عن إيزيدور الإشبيلي وبليني الأكبر (هالو، 2005م).



مفهوم التعدين في العصر الحديث

تُعدّ عمليّة التعدين من أكثر وأخطر العمليّات التي قد تحدث على سطح الأرض؛ لما لها من دور كبير في حدوث تلوّث هوائي وجويّ وحتى تلوّث أرضي. لها ضرر كبير على الشعوب والسُّكان المُهتمون بالطبيعة والحياة البريّة. تؤدِّي إلى انتشار الأمراض بشكل كبير كضيق النفس والربو وغيرها العديد من أمراض الجهاز التنفسيّ. لها دور كبير في حدوث تغيُّر مُناخيّ. تؤدِّي إلى إرغام السكان على الهجرة من أماكنهم أو بلدهم واللجوء إلى أماكن أنظف وأفضل. أحرزت تكنولوجيا استخراج المعادن قفزةً جديدةً إلى الأمام في أواخر العصور الوسطى، عندما بدأ المنقبون في استخدام المتفجرات لتحطيم الصخور الضخمة، فقد وصل البارود الأسود (Black Powder) من الغرب (على الأرجح من الصين)، ثم استبدل البارود الأسود بالديناميت في منتصف القرن التاسع عشر، بالتزامن مع حدوث تطورات في الآلات ذات المحرك، مثل: المثقاب (Drill) والرافعات. (Lifts) والمضخات التي تعمل بالبخار.

دفعت الثورة الصناعية بالمزيد من التحسينات في مُعدات التفجير والتنقيب، كالمثاقب الميكانيكية التي تعمل بالمكابس ثم بالهواء المضغوط، مما رفع بشكل ملحوظ كلاً من قدرة وكفاءة العملية في الصخور القاسية. كما حدثت أيضاً تحسيناتٌ في عمليات التعدين الأخرى. تم استبدال التحميل والرفع اليدوي بالناقلات الكهربية مثل عربات المناجم، ولقد حلت مضخات البخار مشكلة سريان الماء، كما استبدلت المصابيح المضاءة بالشموع والفتيل بمصابيح الغاز، وأخيراً بمصابيحَ تعمل بالبطارية، ولقد أسهمت المَكْننة والتكنولوجيا الحديثة في ظهور تطورات هائلة في تقنيات التعدين.

وخلال هذا القرن تطورت تقنيات التعدين بصورةٍ مستمرة؛ فعلى سبيل المثال باستخدام تقنيات التعدين السطحي تمكنت العديد من عمليات التنقيب من استخراج ما يزيد على 85 بالمائة من المعادن و 98 بالمائة من الخامات المعدنية بدون حفر الآبار أو تعريض حياة العُمَّال للخطر كما استخدمت آلاتٌ مطورةٌ جديدةٌ للطحن والتكسير، وفي مقدورها أيضاً استخراج المعادن من الأرض بأقل طاقة ممكنة عما سبق. ولا يزال المنقبون يستخدمون المعدات الثقيلة مثل المتفجرات، الشاحنات، المثاقب، والبلدوزرات وخاصةً إذا ما توجب عليهم الحفر عميقاً في الأرض، ولقد أتاحت التقدمات التكنولوجية عملية الحفر بدقة أكثر وبضررٍ أقل للبيئة المحيطة. يمكن الاعتماد على آلاتٍ ذات كفاءة مرتفعةٍ لتقليل معدلٍ استهلاك الطاقة، فضلاً عن تحسين وزيادة أعداد المعادن المستخرجة من المناجم.

أما التعدين فهو استخراج الموارد المعدنية المختلفة من صخور القشرة الأرضية، بغض النظر عن طبيعة المعدن الموجود هل هو فلزي أو لا فلزي. ومن الخصائص التي تميز حرفة التعدين والمناجم عن الحرف الأخرى كثرة نفقاتها وتعدد مفرداتها، إذ توجد معظم الموارد المعدنية تحت سطح الأرض بعيداً عن متناول يد الإنسان، وتشمل المواد الخام التي نحصل عليها من التعدين: معادن - فحم - بترول الطفل الصفحي (صخر طيني) - الأحجار الكريمة - الأحجار الكلسية (الجيرية) - الطباشير - الأملاح الصخرية - ملح القلي (بوتاس) - الحصى - الصلصال.



مفهوم المعادن حديثاً

من المعروف أن 99.5 % من القشرة الأرضية يتكون من ثلاثة عشر عنصراً فقط وهي: الأكسجين، السيليكون، الألمنيوم، الحديد، الكالسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم، التيتانيوم، الهيدروجين، الفسفور، المنجنيز، الفلور. والمتبقي من هذه النسبة (0.5 %) تشتمل على عناصر كثيرة لكن أهمها ما يأتي: الذهب، الفضة، البلاتين، النحاس، الرصاص، الزنك، القصدير، النيكل. وهذه هي المعادن الاقتصادية الأساسية التي يقوم عليها اقتصاد الدول.

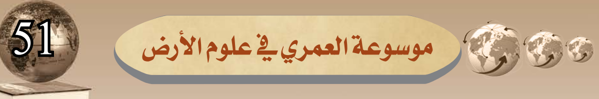
المعادن Minerals عبارة عن مواد صلبة متجانسة، ولها هياكل منتظمة غير عضوية تتشكل طبيعياً في قشرة الأرض، وداخل الصخور التي تتعرض لعمليات جيولوجية مختلفة، بفعل المياه الجوفية والسطحية، وعادةً ما تتواجد المعادن في الطبيعة على هيئة مواد خام، كما تكون هذه المعادن مرتبطة مع بعضها البعض ومع عناصر أخرى. وتُعرّف المعادن من الناحية الكيميائيّة بأنّها مواد تتمتّع بعدة خصائص منها؛ الموصلية للكهرباء واللمعان، وتُصنّف المعادن بالاعتماد على خصائصها إلى معادن فلزية ومعادن غير فلزية.

المعادن الفلزية Metals هي جميع العناصر الكيميائية التي تفقد الإلكترونات خلال التفاعلات الكيميائية، ويُستثنى منها غاز الهيدروجين، والمعادن الفلزية من أنواع المعادن الموصلة للكهرباء. تنتشر الفلزات في قشرة الأرض وفي المياه والغلاف الجوي ومن الأمثلة عليها؛ الألومنيوم، والحديد، والكالسيوم، والصوديوم، والمغنيسوم، والمنغنيز.

المعادن غير الفلزية أو اللافلزية Non-metals هي أنواع المعادن التي تمتلك خصائص فيزيائية لا تمكّنها من توصيل الكهرباء، وبذلك فهي تختلف تماماً عن الفلزات في خصائصها واستخداماتها، وعموماً تُعد نسبة وجود اللافلزات أقل بكثير مقارنة مع الفلزات. تتواجد في الطبيعة على هيئة غازات أو سوائل أو مواد صلبة، ومن خصائصها؛ أنها من الموصلات التي لا تتمتع بخاصية اللمعان، وقوامها هشٌّ، وموصليتها للحرارة والكهرباء ضعيفة نسبياً باستثناء مادة الجرافيت، وتنتشر في الطبيعة، وجسم الانسان، والنباتات، ومن الأمثلة عليها الكربون، و الكبريت، والأكسجين، والنيتروجين.



المعادن عبارة عن مواد صلبة متجانسة، ولها هياكل منتظمة غير عضوية



تصنيف المعادن

أمكن التعرف حتى الآن على ما يقرب من الـ 2000 معدن في قشرة الأرض. الكثير منها نادر أو قليل الوجود، والقليل منها – ما يقرب من المائتين شائع الوجود . تصنف المعادن كيميائياً (على أساس الشق الحامضي) وبلورياً (على أساس البناء الذري) إلى ثماني طوائف Classes على النحو التالي:

الطائفة	المعادن التابعة لها
طائفة المعادن العنصرية Native elements	✓ الفلزات العنصرية: الذهب، الفضة، النحاس، البلاتين، الحديد ✓ أشباه الفلزات العنصرية: الزرنيخ، البزموث ✓ اللافلزات العنصرية: الكبريت، الألماس، الجرافيت
طائفة الكبريتيدات Sulfides والأملاح الكبريتية Suffocates	ارجنتيت - سنبار - كالكوسات - ريالجار- بورنايت - أوربمنت - جالينا - ستبنايت - سفاليرايت - بايرايت - كالكوبايرايت
طائفة الأكاسيد Oxides والهيدروكسيدات Hydroxides	كوبرايت – إلمنايت – بيريكليز- روتايل – زنكايت – بيرولوسايت – كورندوم -كاسيترايت – هيمتايت – يورانيتايت – مجنيتايت
طائفة الهاليدات Halides	هاليت – فلورايت – أتاكامايت – كريوليت

الطائفة	المعادن التابعة لها
طائفة الكربونات Carbonates النترات Nitrates، البورات Borates	كالسايت – دولومايت – رودوكروزيت – كانزيت – سترونشيانيت – ويذيريت – سيديرايت – ملاكايت – أزورايت
طائفة الكبريتات Sulfates، الكرومات Chromates، المولبدات Molybdates، التنجستات Tungstates	أنهيدرايت – انجليزايت – بارايت – جبس – سلستايت – إبسومايت – كروكويت
طائفة الفوسفات Phosphates، الزرنيخات Arsenates، الفانادات Vanadates	أبتايت، مونزايت
طائفة السيليكات Silicates	أوليفين – الزركون – جارنت – تورمالين – والبورون – بيريل – أوجايت – هورنبلند – بايوتيت – مسكوفايت – تلك – أرثوكليز – ميكروكلين – البلاجيوكليز– نيفيلين – لوسايت

الذهب Au من طائفة الفلزات العنصرية



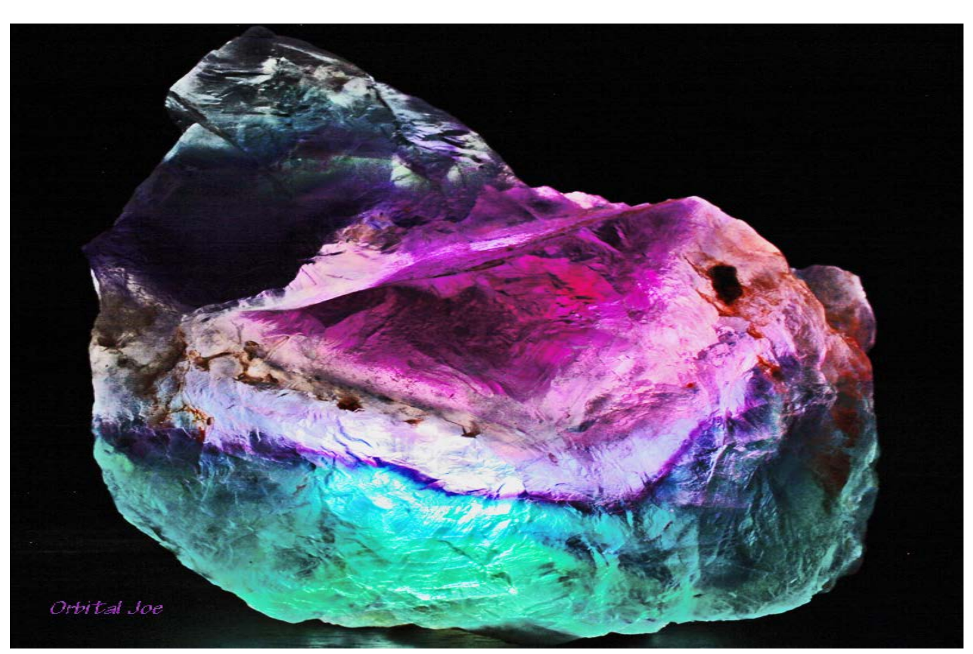
الجرفايت C من طائفة اللافلزات العنصرية



الكالكوبيريت $CuFeS_2$ من طائفة الكبريتيدات



إلمنايت $FeTiO_8$ من طائفة الأكاسيد



فلورايت CaF_2 من طائفة الهاليدات





الكالسايت $CaCO_3$ من طائفة الكربونات



الانهيدرايت $CaSO_4$ من طائفة الكبريتات



الأباتيت $Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$ من طائفة الفوسفات



الجارنت $X_3Y_2(SiO_4)_3$ من طائفة السيليكات



خصائص المعادن

تُعتبر المعادن الفلزية من أنواع المعادن الموصلة للكهرباء، ولديها العديد من الخصائص والاستخدامات المفيدة في حياتنا، من أبرز الأمثلة عليها الذهب، والفضة، والنحاس، والحديد، والزئبق. تتميز المعادن الفلزية بالعديد من الخصائص الكيميائية والفيزيائية، فمن خصائصها الكيميائية أنها تفقد الإلكترونات خلال التفاعلات الكيميائية، وفيما يأتي أبرز **خصائص المعادن الفلزية**.

جميع المعادن الفلزية صلبة في درجة حرارة الغرفة باستثناء الزئبق، فهو المعدن الفلزي الوحيد السائل في درجة حرارة الغرفة. تمتلك جميع المعادن الفلزية لمعاناً مميزاً، كما يُمكن صقلها وتشكيلها. يُمكن تشكيل المعادن الفلزية بسهولة، ويمكن أيضاً تحويلها إلى أسلاك. تُعد المعادن الفلزية موصلات ممتازة للكهرباء، وذلك لاحتوائها على الأيونات الحرة. جميع المعادن صلبة ما عدا البوتاسيوم والصوديوم. تمتلك المعادن الفلزية درجة انصهار وغليان عالية مقارنة مع المعادن الأخرى. **خصائص المعادن غير الفلزية** تختلف خصائص اللافلزات تماماً عن الفلزات، وفيما يأتي أبرز خصائصها الكيميائية والفيزيائية. لا توصل اللافلزات الطاقة الكهربائية، وهذا يعني أنّها من العوازل الكهربائية. يُمكن أن تتواجد اللافلزات في الطبيعة بحالتها الصلبة، والسائلة، أو الغازية في درجة حرارة الغرفة. يُمكن أن تكون الفلزات شفافة أو ملونة، هشّة أو صلبة. تُقسم اللافلزات من الناحية الكيميائية إلى مواد تساهمية ومواد أيونية. يُمكن أن تكون اللافلزات من الأيونات أحادية الذرات أو أيونات متعددة الذرات. تمتلك اللافلزات شحنة سالبة، وهذا معناه أنها تكسب الإلكترونات خلال التفاعلات الكيميائية.

الخامات

الخام Ore نوع من أنواع الصخور التي تحتوي في تركيبها وبُنيتها على المعادن، شرط أن تكون هذه المعادن تحتوي على فلزّات، حيثُ إنّه من المُمكن الحصول على مثل هذه الخامات عن طريق القيام بعمليّة التعدين في باطن الأرض أو على السطح. قد يُسمّى **المعدن خاماً** إذا كان يحتوي على كمّيّات كافيّة ومفيدة من المواد التي يمكن استثمارها، حيث يتمّ معالجة الخام بعد استخراجه مُباشرةً حتى يتمّ الحصول على المعدن أو العنصر المطلوب. كان التعريف الأقدم يقيد استخدام كلمة خام على الرواسب المعدنية، ولكن المصطلح قد توسع في بعض الحالات ليشمل المواد غير المعدنية. جميع الخامات هي المعادن، ولكن ليس كل المعادن هي الخامات.

الخامات المعدنيّة: هي عبارة عن مجموعة من العناصر المعدنيّة التي ترتبط بعناصر أخرى ارتباطاً كيميائياً، حيث يؤدي هذا الارتباط إلى تكوين وتشكيل تكتُّلات معدنيّة تختلط هذه التكتُّلات مع المكوِّنات الصخريّة أو مع المعادن اللّافلزيّة حيث يتمّ تسمية هذه المواد أو المكوّنات بالشوائب، كما تُعدّ هذه التكتُّلات ذات أهميّة اقتصاديّة وثروة معدنيّة يتم الحصول عليها بعد الانتهاء من عمليّة استخلاص المعادن. كما أنّ المعادن التي تحتوي على كمّيّات كافية من **الفلزّ** حتى يتم استخراجه بسهولة ويُسّر تُسمّى **بالمعدن الخام**. ومن الجدير بالذكر أنّه يجب أن يتركَّز الفلزّ بشكل كافٍ في المعدن حتى يتم تكوين الخام، كما أنّ هذا المعدن يجب أن يتركّز بشكل كافٍ في الأرض.

يعتبر الخام نوع من أنواع الصخور

بشكل عام، يمكن تقسيم الخام إلى ثلاثة أنواع: خام الكبريتيد، وخام الحديد، وخام الذهب. يتكون خام الكبريتيد من مركبات الكبريت. معدن الكبريتيد هو معدن يتكون من مركبات الكبريت. وتشمل هذه المركبات ذات الأهمية الاقتصادية مزيج الزنك، ونظرة الرصاص وكالكوبايرايت. يتم استخراج العديد من المعادن الأساسية، مثل الزنك والرصاص والنحاس والنيكل، من خامات الكبريتيد. حتى الذهب والفضة يمكن استخراجهما كمنتجات ثانوية. نظراً لأن خام الكبريتيد يحتوي على كميات كبيرة من معادن الكبريتيد، فغالباً ما ترتبط بمخاطر بيئية أكبر من العديد من الخامات الأخرى. وذلك لأن جميع معادن الكبريتيد تتجدد أو تتحلل بسرعة عند ملامستها للأكسجين.

غالباً ما يكون الحديد هو الوحيد الذي يتم استخراجه من خام الحديد، ولكن يمكن أن يكون هناك معادن ومواد أخرى في الخام. هناك عدة أنواع من معادن خام الحديد، أهمها خام المغنتيت وخام الهيماتيت.

عموماً تتكون الخامات المعدنية بواسطة طريقتين رئيسيتين هما:

1. **الطريقة الميكانيكية**: وتتلخص في عمليات التجوية والتعرية الميكانيكية التي تفتت الصخور وتكون الرواسب المختلفة التي بإمكان عوامل النقل حملها، ثم ترسيبها، وبالنهاية تتكون الصخور الرسوبية الميكانيكية ضمن بيئاتها المختلفة، والرواسب الحصوية والمعدنية ضمن الأنهار وعلى ضفاف الأنهار بواسطة الفيضانات.



2. **الطريقة الكيميائية**: وهذه العملية تشمل ثلاث طرق رئيسية:

- تتكون **الخامات المعدنية** بواسطة طرق كيميائية عن طريق التفاعل بين الكائنات الحية والماء السطحي أي الترسيب الكيميائي العضوي، بالإضافة إلى **الترسيب** المباشر من **مياه البحار** والبحيرات بسبب عملية **التبخر** الناتجة عن ارتفاع درجة الحرارة. جميع الصخور **الرسوبية** الكيميائية والكيميائية العضوية تندرج ضمن هذا النوع من الخامات.

- تتكون الخامات الاقتصادية بواسطة طرق كيميائية ضمن **الصخور** المختلفة، هنا بإمكان العمليات المختلفة زيادة تركيز **المعادن** المكونة للصخر أو إضافة **معدن** جديد لا يعتبر من مكونات الصخر الأساسية. زيادة التركيز تحدث بواسطة عمليات التجوية والتعرية وبواسطة **الترسيب** من المياه الجوفية وأيضاً بواسطة عملية التحول خاصة التماسي والإقليمي القليل الدرجة أما إضافة **معادن** جديدة يمكن أن تحدث دون التعرض للماجما أي بواسطة المياه الجوفية أو التعرية والتجوية، أو يمكن لها أن تحدث بواسطة تعرض الصخور للمحاليل الساخنة أو **الأبخرة** أو الحارة المصاحبة للماجما.

- تتكون الخامات **المعدنية** بواسطة **التبلور** من الماجما إما على سطح الأرض إما على أعماق متفاوتة من سطح الأرض، ويتكون منها الصخور **النارية** المختلفة وهي تعرف **بمعادن** صهارية، أو معادن البجماتيت إذا كان **الصخر** يحتوي على نسيج **بجماتيتي**.

تصنيف الخامات المعدنية

تصنف الخامات المعدنية: إلى قسمين أساسيين هما :

خامات معدنيّة مُعاصرة Syngenetic : ينتج هذا النوع من الخامات في نفس الوقت الذي يتكوّن فيه الصخر الحاوي على هذا الخام، مثال ذلك: الصخور الرمليّة المُتكوّنة من الكوارتز، لذلك يُعتبر الكوارتز خام معدنيّ مُعاصر ضمن هذه الصخور الرمليّة.

خامات معدنيّة لاحقة Epigenetic : تتكوّن هذه الخامات بعد أن يتمّ الانتهاء من تكوين الصخر الحاوي عليها؛ حيث تتكوّن بفعل عمليّات التّرسيب الناتجة من المحاليل السّاخنة، التي بقيت من تبلور الصخور المصهورة، كما أنّ هذه الخامات لا تتعرّض لعمليّات التعرية حيث يتمّ استخلاصها من نفس الصخر الحاوي عليها ولكن بعد أن يتكوّن هذا الصخر.

وتصنف الخامات المعدنيّة بالاعتماد على العوامل الخارجية التي تؤثّر عليها إلى:

خامات أولية: تتكوّن هذه الخامات في أثناء تكوّن الصخر الحاوي عليها، كما أنّه من المُمكن أن يتم استخلاصها من نفس الصخر الذي يحتوي عليها، كما أنّ هذه الخامات لم تتعرَّض لعوامل التَّجويّة والتَّعريّة ومن الأمثلة عليها الكوارتز والبايرايت.

خامات ثانويّة: يتم استخلاص هذه الخامات من الصخور، بعد أن تعرّضت للتجوية الكيمائيّة أو الفيزيائيّة، حيث يمكن تحديد ما إذا كان المعدن أوليّ النشأة أو ثانويّ عن طريق دراسة أنواع مُختلفة ومُتعدّدة من المعادن، فمثلاً يُعدّ كبريتيد الحديد من الخامات

الأوليّة ولكنهُ بعد تعرّضه للتَّجوية تكوّن خام ثانويّ يُسمّى أكسيد الحديد المائي. يمكن تقسيم الخامات أو الرواسب المعدنية إلى فلزية ولا فلزية.

الرواسب المعدنية الفلزية	الرواسب المعدنية اللافلزية
الفلزات النفيسة: الذهب والفضة ومجموعة البلاتين	المواد الخزفية: الصلصال والفلسبار
الفلزات غير الحديدية: النحاس، الزنك، الرصاص، القصدير، الألمنيوم، الحديد	أحجار الزينة: الجرانيت والجابرو والرخام والحجر الجيري
الفلزات الحديدية: الحديد، المنجنيز، النيكل، الكروم، التجستن، المولبدنيوم، الفناديوم، الكوبالت	المواد الميتالوجينية والمقاومة للصهر: الفلورايت، الجرافيت، الجير والحجر الجيري، المغنزايت
الفلزات ضئيلة المصدر واللافلزات المصاحبة: التنتالم والنيوبيوم، التيتانيوم، العناصر الأرضية النادرة، اليورانيوم، الزركونيوم، البريليوم، المغنسيوم، الإنتيمون، البزموث، الكادميوم، الزئبق.	معادن الصناعة الكيميائية: الفوسفات، الملح الصخري، الكبريت، أملاح البوتاسيوم المواد الصناعية: الميكا، التلك، الأسبستوس، البارايت، الكبريت مواد البناء: الجبس والمواد الركامية
	معادن الزينة: الألماس والياقوت والفيروز


الثروات
الأرضية
المتوفرة
الاستكشاف
التقييم البيئي
والاعتماد
التشييد
العملية
القفل
الاستصلاح والمراقبة
دورة تنمية
الموارد المعدنية



الأحجار الكريمة

الأحجار الكريمة Gemstones هي إحدى أنواع المعادن أو الصخور التي صُنّفت بأنّها كريمة ونبيلة نظراً لأنّها جميلة، وذات قدرة كبيرة على التحمل، ونادرة، وتستخدم في صنع المجوهرات والزينة.

الأحجار الكريمة هي نوع من المعادن النادرة، تشكّلت منذ ملايين السنين في باطن الأرض، وتتكوّن هذه المعادن من مادة السيليكا، وهناك العديد من أنواع الأحجار الكريمة إذ يبلُغ عددها ما يقارب أربعة آلاف نوع، وهذه الأحجار منها ما هو نفيس أو نصف نفيس ويتحدد ذلك بالاعتماد علىً مكوناتها الفيزيائية والكيميائية، إلى جانب الظروف الطبيعية التي تكوّنت فيها هذه الأحجار، وتجدّر الإشارة هنا إلى أنّ الأحجار النفيسة عددها قليل جداً أفضلها 16 معدناً هي: البريل، الكريزوبيريل، الكوراندون، الألماس، الفلسبار، العقيق، اليشم، اللازوريت، الزبرجد الزيتوني، الأوبال، الكوارتز، الإسبنيل، التوباز، التورمالين، الفيروز، والزركون، تحتوي بعض منها على أنواع فرعية أيضاً، أي أن الأحجار الكريمة هي المعادن التي صُنّفت نظراً لجماليتها وقوة تحملها، واستُخدمت بعد صقلها وقصها وتشكيلها كزينة للإنسان.

تمتاز الأحجار الكريمة بأربعة خصائص وتُصنّف بناءً عليها هي: النمط أو الشكل، اللون، الوضوح، القيراط، وتعد ميّزة اللون هي الأهم، حيث تُقسّم درجات الألوان إلى ثلاثة فئات هي: تدرج اللون، درجة اللون، والتشبع، فتدرج اللون يعني اللون الأصلي للحجر ونقاء هذه الدرجة، أما درجة اللون فتعني قوّة هذا اللون فمثلاً إن كان الحجر أخضرَ، هل





هو أخضر فاتح أم أخضر غامق، أما تشبّع اللون فتعني قوة لون الحجر الأساسي مقابل الألوان القاتمة التي قد تظهر في الحجر كالبني أو الرمادي. تختلف الألوان تبعاً لطريقة تشكّلها فأحياناً تختلط مع شوائب أو معادن أخرى تظهر كالعيوب أو البقع الصغيرة داخل الحجر، تُعطي لمحة للباحث عن كيفية تكوّن الحجر والبيئة الجيولوجية التي تشكّل فيها وأصله، كما أن هذه الشوائب تُبين إن كان الحجر صناعي أم طبيعي، ولكن هذه الشوائب غير متواجدة في كافة الأحجار كالأكوامارين الخالي من الشوائب. تتكوّن الأحجار الكريمة على أعماق مختلفة تحت الأرض، وتُسمى الأحجار التي تُستخرج من باطن الأرض بالأحجار المعدنية، وقد تتكوّن هذه الأحجار من عنصر واحد، أو تتشكّل بفعل اندماجها مع عناصر أخرى، فعلى سبيل المثال يتكوّن كل من الألماس والزمرد والياقوت من الحمم البركانية والزلازل، وتتواجد على عمق 160 متراً تقريباً في باطن الأرض، أما المرجان واللؤلؤ فيتشكلان في قاع البحر، ويُعتبران من الأحجار التي تتشكّل في المملكة الحيوانية، أما المملكة النباتية فيتكوّن فيها أحد أنواع الأحجار الكريمة أصفر اللون ويُسمى الكهرمان الأصفر.



تشكل الأحجار الكريمة

تتشكل معظم الأحجار الكريمة المعروفة في طبقات القشرة الأرضية على عمقٍ يتراوح بين 5 إلى 40 كم تحت سطح الأرض. وقد يصل بعضها الى أعمق من ذلك.

- **من الصخور البركانية:**

- تتشكّل نتيجة تبلور وبرودة مادة **الماغما** (Magma) البركانية تحت سطح الأرض، كما يمكن أيضاً أن تتشكل تحت الأرض من مادة اللافا (Lava) البركانية.

- أما نوع الأحجار المتشكلة فيعتمد على العناصر المعدنية الموجودة في المادة البركانية، بالإضافة لزمن التبريد وطبيعة البيئة الحاضنة للمادة، وبشكلٍ عام كلما كانت البيئة عميقةً داخل القشرة الأرضية، وكان التبريد أبطأ كلما حصلنا على أحجار كريمة أكبر من حيث الحجم.

- توجد العديد من الأنواع التي يمكن أن توجد أو تتشكل في البيئات البركانية مثل:

  - **الكوارتز** (Quartz).
  - **العقيق** (Garnet).
  - **حجر القمر** (Moonstone).
  - **الأباتيت** (Apatite).
  - **الألماس** (Diamond).

- **من الصخور الرسوبية:**
- يعود أصل هذا النمط من الأحجار الكريمة إلى الصخور الرسوبية التي تتشكل من قطع الصخور بعد جرفها سواءً بالماء عبر الأنهار أو بالرياح، وبعد أن تستقر داخل الأرض وتتعرض للضغط الكبير خلال الزمن تولد الأحجار الكريمة.
- من أشهر الأحجار الكريمة الرسوبية نجد **اليشب** (Jasper)، **والملكايت** (Malachite)، **والأوبال وهو نوعٌ من العقيق** (Opal)، **والزركون** (Zircon).
- **من الصخور المتحولة:**
- النوع الثالث من الأحجار الكريمة هي الأحجار المتشكلة من الصخور المتحولة، التي تتشكل نتيجة تغيرات الحرارة العالية تحت الأرض أو بسبب الضغط.
- من الأنواع المتشكلة بهذه الطريقة **اللازورد** (Lapis Lazuli)، **والفيروز** (Turquoise) **والياقوت** (Ruby).

أشهر الأحجار الكريمة

- **الألماس Diamond**

يتكون الألماس من ذرات الكربون، ويعتبر أقسى مادة اكتشفها الإنسان على سطح الكرة الأرضية، لكن من المثير معرفة أن الكربون أيضاً هو المكون الرئيسي للفحم، فما الذي يحول الفحم الأسود إلى ألماس؟ يتشكل الألماس نتيجة الضغط العالي الذي يتعرض له الكربون في أعماق القشرة الأرضية، كما أنه نادرٌ فهو موجودٌ في عددٍ محددٍ من الأماكن في العالم.





- **الياقوت Ruby**

يتكون الياقوت من خليط معدنيٍّ يسمى خليط الكورونـدوم (Corundum) الذي يتكون بشكلٍ أساسيٍّ من أكسيد الألمنيوم بالإضافة لبعض المعادن الأخرى، مثل: الحديد والتيتانيوم والكروم، التي تتفاوت نسبها من قطعة ياقوتٍ إلى أخرى مسببةً بذلك تفاوت ألوان الياقوت وتنوعها، أما اللون الأحمر الذي يعرف به الياقوت فهو ناتجٌ بشكلٍ أساسيٍّ من عنصر الكروم.

أحجار الياقوت

• الزمرد Emerald

أما الزمرد؛ فيتكون من خليطٍ معدنيٍّ يطلق عليه اسم البريل (Beryl) الذي يتألف بدوره من عدة عناصر، هي: الألمنيوم والسيليكون والبريليوم بالإضافة للأكسجين، أما لون الزمرد فينتج الكروم والفاناديوم.



اللؤلؤ

تتكون اللآلئ في أصداف المحاريات، التي تكونها كدفاع طبيعي ضد أي جسم دخيل مثل : حبيبات الرملية الخشنة، و يبدأ المحار بإفراز طبقات من الأرجونايت تعرف باسم عرق اللؤلؤ حول جسمه فتتكون حوله لؤلؤة صلبة، و تعكس هذه الطبقات المتراكمة بريقاً مميزاً يعرف باسم لؤلؤة الشرق وبالنسبة لزراعة اللؤلؤ فهي تتم بإدخال أي جسم غريب داخل الصدفة لحثها على تكوين اللؤلؤ، وفي اللؤلؤ المزروع ذات النواة نجد أنهم يستخدمون الخرز الصغير كنواة يفرز عليها طبقة من الصدف، وتتدرج اللآلئ في ألوانها من الأبيض الناصع إلى الأبيض الذي يحوي لوناً وردياً إلى اللون البني أو الأسود، ويتعمد ذلك على نوع الرخويات وعلى المياه نفسها، واللآلئ حساسة للأحماض والجفاف والرطوبة لذلك فهي تدوم فترة أقل من الأحجار النفسية الأخرى.

أحجار اللؤلؤ

المرجان

المصنوع من هياكل الحيوانات البحرية، ويطلق عليها زوائد مرجانية، وهذه المخلوقات الدقيقة تعيش في مستعمرات وتكون أثناء نموها تركيبات وبناءات متفرعة، وسطح تفرعات المرجان لها شكل مميز، ومعظم المرجانيات تتكون من

كربونات الكالسيوم، أما مرجان الأسود الذهبي فهو مكون من مادة تشبه المواد القرنية، وهي يطلق عليها اسم كونكولين، وهو أكثر قيمة و قد تم استخدامه في المجوهرات في آلاف من السنين، وقبل صقله يكون المرجان عكر اللون، وبعد عملية الصقل يكون له بريق زجاجي، ولكنه حسَّاس للحرارة.



أحجار المرجان



أهميـــة الأحجـــار الكريمـــة

لقد استخدم العرب القدامى الأحجار الكريمة لعلاج العديد من الأمراض العضويّة والنفسية أيضاً، ولا زالت الدراسات تُجرى في هذا الخصوص لمعرفة ما إذا كانت الأحجار الكريمة يُمكن اعتبارها أحد أنواع الطب البديل أم لا، حيث لم يثبُت علمياً مدى فعاليتها في علاج الأمراض حتى الآن، ويرى فريق من الأطباء أنّ مدى نجاح هذا العلاج يتوقف على مدى تقبُّل الجسم للعلاج، ومدى التوافق ما بين الموجات الكهرومغناطيسية التي يُصدرها جسم الإنسان مع الموجات الصادرة عن الأحجار الكريمة، وعلى الرغم من أنّ الأبحاث العلميّة لا زالت جاريةً إلا أنّ هناك ما يُؤكّد أنّ لبعض أنواع الأحجار الكريمة النادرة خواص علاجية ومن أمثلة ذلك الكهرمان الذي يتشكّل من الصمغ الذي تُنتجه أشجار الصنوبر، وقد كان يُستخدم من قِبل الإغريق والفراعنة لعلاج التقرّحات الجلديّة وذلك بعض سحقه وخلطه ببعض المواد ومنها الكُركم، وقد أكدت دراسة حديثة أُجريت في السويد صحة هذه الفائدة العلاجيّة.

أنواع الأحجار الكريمة

تتعدد أنواع الأحجار كريمة من ناحية الشكل واللون والمكونات، صنّف الباحثون أنواعها اعتماداً على كيفية تكوينها والمواد الخام الأصلية، أي في حال تكونت من مواد معدنية، أو من مواد عضوية، أو من مواد غير عضوية، أو من صخور، أو من خليط يجمع المعادن والبلورات والصخور، والآتي توضيح لهذه الأنواع:

الأحجار الكريمة المعدنية: وهي المجموعة التي تحتوي أكثر عدد من الأحجار الكريمة، نظراً لأنها تضم أكثر من 130 معدناً مختلفاً تفاعل مع الماء لتكوين الأحجار المتنوعة، ومن أهمها: الألماس، والياقوت، والزمرد، والكوارتز، الياقوت الطبيعي.

الأحجار الكريمة العضوية: تحتوي هذه المجموعة على الأحجار الكريمة التي تألفت من تفاعل الوقود الأحفوري مثل: العنبر، بالإضافة للأنواع التي تشكّلت بفعل الكائنات الحية مثل: اللؤلؤ الذي يتشكّل في الصدف، والعاج، وتعد أنواع هذه المجموعة أكثر استخداماً في المنحوتات، والمنحوتات المزخرفة، واختير هذا النوع نظراً لأنها قوية الهيكل مثل العاج، أو حسَّاسة ولامعة اللون كاللؤلؤ.

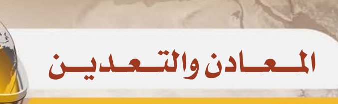
الأحجار الكريمة غير العضوية: وهذه المجموعة تحتوي على نوعين فقط هما: العقيق، والسجاد، وهي عبارة عن زجاج بركاني لونه أسود يتشكّل بفعل الانفجارات البركانية، وتحتوي داخلها على شوائب بيضاء تُشبه حبات الثلج الصغيرة، بالإضافة للأوبال الذي يصنّف كمادة غير طبيعية إذ إنه عبارة عن أشكال غير متبلورة من السيليكا، قد يكون صلباً وقد يكون سائلاً.

الأحجار الكريمة الصخرية: تتشكّل هذه الأحجار من الجرانيت الوردي، والأخضر، والأبيض، ومن بينها حجر اللازورد الذي يمتاز بلونه الأزرق أحياناً وقد يكون ذهبي أو أبيض.

الأحجار الكريمة الاصطناعية: تتشكّل هذه الأنواع بفعل البشر، تُصنع لتُحاكي الأحجار الكريمة الطبيعية نظراً لندرة الأحجار الطبيعية، لكنها تمتاز بثمنها البسيط، ومن أمثلتها الزركونيا المكعبة.



أنواع الأحجار الكريمة الصخرية



جارنت	المرجان	ياقوت نجمي	ياقوت	عقيق كبدي
الأمازيت	فيروز	الجاد	عقيق أخضر	زمرد
أوبال	حجر القمر	جمشت	اللازورد	الزفير
أونكس	كوارتز	الزركون	الكهرمان	السيترين

أنواع الأحجار الكريمة الاصطناعية

الأهمية الاقتصادية للخامات

تصنيف الخامات المعدنية اعتماداً على أهميتها الاقتصادية إلى:

أولاً: الخامات المعدنية الفلزية: Metallic Mineral Ores

1 - الخامات الفلزية الثمينة

الذهب، الفضة، البلاتين: وهي المعادن التي توجد في صورة نادرة وتستخدم بصورة أساسية كمقياس لتحديد قوة الأنظمة النقدية العالمية خاصة الذهب حيث تحرص معظم دول العالم على الاحتفاظ باحتياطي من الذهب على شكل سبائك أو نقود.

الذهب: يستخدم الذهب عملة، وصناعة الحلي، ويسبك مع الفضة أو البلاتين أو النيكل ليعطي ذهباً أبيضَ ويسبك مع الكادميوم ليعطي ذهباً أخضرَ، ومع النحاس ليعطي ذهباً أحمرَ، ومع الألمونيوم ليعطي ذهباً ورديا، ويعتبر الذهب الحر أهم خامات الذهب لكن في كثير من الأحيان يوجد مختلط مع الفضة، بالإضافة إلى وجود خامات معدنية نادرة للذهب وهي التيلوريد والكالافريات.

الفضة: الفضة تعتبر أيضاً من الخامات الفلزية الثمينة وهو يستخدم خاصة في صناعة الحلية وصك النقود، بالإضافة إلى الصناعات الكهربائية والكيميائية والطبية والفوتوغرافية والهندسية، وإنتاج سبائك اللحم. أهم خامات الفضة هو أرجنتيت بالإضافة إلى وجوده على هيئة فضة حرة في الطبيعة.

البلاتين: هو ثالث الخامات الفلزية الثمينة. ويستخدم في صناعة الحلي، وهو عامل مساعد في التفاعلات الكيميائية، صناعة أواني المختبرات المقاومة للحرارة، صناعة المتفجرات، حشو الأسنان، ويوجد في الطبيعة على هيئة عنصرية حرة. يمكن الحصول على المعادن الثمينة (الذهب، الفضة، البلاتين) بالحالة العنصرية كرواسب حصوية أو دقيقة وضمن عروق الذهب، (Placer Sediments) ضمن الرواسب النهرية أو الدلتا.

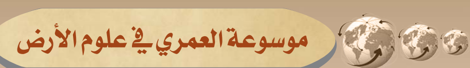
2 - خامات معدنية فلزية لصناعة السبائك

وهي المعادن التي بإمكانها أن تستخدم في صناعة السبائك المختلفة التي تقوم عليها الصناعات العالمية، وتصنف إلى:

- **خامات السبائك اللاحديدية**

وهي السبائك التي لا يدخل الحديد في تصنيعها، وتشمل العناصر المعدنية الآتية:

النحاس - الرصاص - الزنك - القصدير- الألمنيوم - الزئبق





خامات السبائك الحديدية

يوجد نوعان من السبائك الحديدية

النوع الأول: يتكون من الحديد فقط ويكون إما بإضافة الكربون إما غاز ثاني أكسيد الكربون له بحيث لا تتعدى الذي تستخدم في كثير من الصناعات المتقدمة وصناعة الأواني 1% (Steel) لتحويله إلى سبائك الستيل المعروفة بالسينلس ستيل أي الحديد الذي لا يصدأ، أو تنقيته من الشوائب الموجودة معه بحيث تتكون سبائك وهي سبائك شديدة الصلادة وتتميز بالمرونة الكبيرة كما تتميز بسهولة عملية (Wrought Iron) الحديد المطاوع الطرق والسحب والتشكيل، لذلك تستخدم في صناعة الأسلاك والسلاسل وأدوات الحدادة.

النوع الثاني: يعرف بخامات السبائك الحديدية وهي الفلزات التي تستخدم في عملية تحويل الحديد إلى صلب وتشتمل على المنجنيز، الكروم، النيكل، الموليبدينوم، التنجستن، الفانديوم، الكوبالت. ويستخلص الحديد من الخامات المعدنية التالية: البايرايت، الماجنيتيت، الهيماتيت، الليمونايت، السيداريت.

3- خامات الفلزات النادرة

هي الخامات الموجودة بنسب قليلة في الطبيعة وعادة تكون مختلطة مع خامات اقتصادية أخرى، وهي مهمة جداً لبعض الصناعات. ومنها الانتيموني - الزرنيخ - البريليوم - البيسموث الكادميوم - الليثيوم - المغنيسيوم - الزيركونيوم - التيتانيوم.

4 - الخامات الفلزية المشعة

تضم الفلزات المشعة العناصر الفلزية الموجودة في القشرة الأرضية التي تتميز بنشاط إشعاعي، أي بإمكانية تكوين طاقة هائلة من تفجير وتفتيت ذاتها. وتشمل اليورانيوم، والكوبالت، والثوريوم، والراديوم والبلوتونيوم. وتستخدم الفلزات المشعة في السلم وذلك لإنتاج الكهرباء والحرارة (أي موارد للطاقة) وأيضاً في الطب وتحلية المياه البحرية وتسيير البواخر والغواصات وقياس أعمار الصخور، كما تستخدم في الأغراض الحربية لإنتاج القنابل النووية، ورؤوس الصواريخ والقذائف التي تخترق المدرعات وأيضاً صناعة الآليات المدرعة. يستخلص اليورانيوم من الخامات التالية: البتشبلند Pitchblende، اليورانينيت Uraninite، الكارنوتايت Carnotite ويستخلص الراديوم من معدن المونازيات ويستخلص الثوريوم من رمال المونازيات والأوتونايت.

ثانياً: الخامات اللافلزية Nonmetallic Ores

هذه الخامات موجودة بصورة أوسع وكميات أكبر من المعادن أو الخامات الفلزية الأخرى، وتستخدم في صناعات كثيرة، ويعتمد سعر هذه الخامات على تكلفة النقل و الغرض الذي من أجله استخلصت هذه الخامات. معظم هذه الخامات تستخدم عادة على هيئتها الطبيعية الأصلية، لكن القليل منها الذي يجزأ ويستخلص منه معادن أو مشتقات أخرى. تقسم أنواعها إلى ما يأتي: خامات الوقود - خامات الخزف - خامات البناء - خامات مقاومة للحرارة - خامات التعدين والمقاومة - خامات كيميائية - خامات الصناعة والتصنيع - خامات الصنفرة- الأحجار الكريمة

وتشمل: الألماس، الياقوت، الزمرد، الزبرجد، الفيروز، العقيق، التوباز، اللازورد، اللؤلؤ.

مراحل التعدين

يمر الإنتاج المعدني بعدة مراحل تشمل مرحلة البحث والتنقيب، وهي مرحلة كثيرة التكاليف، ونتائجها غير مضمونة دائماً، ومرحلة الاستعداد للإنتاج، ومرحلة استخراج المعادن، ومرحلة إعداد المعادن وتجهيزها لنقلها إلى الأسواق ثم إلى التصنيع. يمكن أن يحدث التعدين على السطح أو تحت الأرض. تحدد البيئة ونوع المواد الملغومة شكل التعدين المطلوب والمعدات المستخدمة. لكل من التعدين السطحي والجوي في أربع خطوات رئيسية:

- **الاستخراج**: يشمل الحفر أو التفجير أو الحفر لإزالة المواد من موقع المنجم.
- **الفرز والتحميل**: ويشمل ذلك فرز المواد وتحميلها إما للذهاب إلى منطقة النفايات أو موقع المعالجة والصهر لتحرير المعادن من المعادن التي تحتوي عليها.
- **المعالجة**: تتضمن طحن، وفصل، وسحق، وتكرير، وصهر خام المعادن أو غيرها من السلع في مصنع خارج الموقع لتحويلها إلى منتجات نهائية.
- **إغلاق المنجم**: هو الخطوة الأخيرة في دورة التعدين. يؤدي التعدين في النهاية إلى استنفاد المواد الغنية بالمعادن التي يمكن إزالتها اقتصادياً في منجم معين. عندما لم يعد من الممكن إجراء التعدين بشكل مربح، سيتم إغلاق المنجم والمرافق ذات الصلة المستخدمة في الإثراء أو الصهر. يشمل الإغلاق العديد من الأنشطة التي يتم إجراؤها على وجه التحديد لمنع أو تخفيف الآثار البيئية والاجتماعية غير المرغوب فيها.

يتم التعدين أو حفر المناجم بواسطة الحفر المكشوفة على سطح الأرض، أو بالحفر العميق داخل الأرض لاستغلال معادنها . وتتوقف طرق تنجيم أو تعدين الخامات المعدنية على الطبيعة الجيولوجية للمنطقة بطريقتين:

- **طريقة التعدين المفتوح (المناجم السطحية)**
- **طريقة التعدين تحت السطحي (المناجم تحت السطحية)**

وفي العادة يبدأ التعدين بعد انتهاء أعمال التنقيب الجيولوجي والجيوكيميائي والجيوفيزيائي على رواسب الخامات المعدنية، وذلك بغرض استخراجها واستثمارها وتصنيعها.

وهناك عدة عوامل مؤثرة في عمليات التعدين أهمها:

- **قُرْب الخامات المعدنية من سطح الأرض أو بُعْدها عنه.**
- **نسبة المعدن في الخام المعدني، فكلما زادت هذه النسبة زادت الأرباح المتوقعة.**
- **الموقع الجغرافي للمناجم، ويشمل ذلك سهولة أو صعوبة الوصول إليها، إضافة إلى اقتراب مناطق التعدين من طرق التجارة.**
- **وجود وسائل النقل المتطورة مثل القطارات لنقل الخامات المعدنية لتصنيعها أو استثمارها.**
- **التقدم التقني اللازم في عمليات التعدين، وتحويل الخامات المعدنية بطريقة جيدة ومناسبة.**


2.التصميم
3.التشييد
1.الاستكشاف
4.الاستخلاص
دورة
حياة
التعدين
7.القفل والعناية
اللاحقة
5.المعالجة
6.الخدمات
الهندسية
والصيانة

تقنيات التعدين

هناك أربع طرقٍ رئيسيةٍ للتعدين؛ هي التعدين الجوي، وتعدين السطح المفتوح (الحفرة)، والتعدين الموضعي، والتعدين بغسل الراسب. إنّ التنقيب الجوي هو الأغلى ثمناً وغالباً ما يستخدم للوصول إلى المستودعات الأعمق، وعادةً ما يُستخدم التعدين السطحي للمستودعات الأكثر ضحالةً وذي القيمة الاقتصادية الأقل. تستخدم طريقة التعدين الغريني بغسل الراسب Placer Mining عند التنقيب في قنوات الأنهار، رمال الشاطئ، أو بيئاتٍ أخرى لغربلة وفرز المعادن الثمينة من الرواسب كالذهب والفضّة والقصدير ومن المُمكن استخراج بعض من الأحجار الكريمة كالياقوت والزُمرّد،، بينما يستخدم التعدين الموضعي In-situ Mining بصورةٍ أساسية في استخراج معدن اليورانيوم، وتتضمن العملية تذويب المورد المعدني الموجود، ثم إجراء المعالجات اللازمة على السطح عن طريق حقن محلول يذيب المعدن في موقعه الأصلي بدون تحريك الصخرة من الأرض؛ لذا يسمى بالتعدين الموضعي.

التعدين السطحي Surface Mining

تُعتبر هذه الطريقة من أكثر الطرق شيوعاً واستخداماً في استخلاص المعدن وأكثر فعالية من حيث التكلفة حيث يتم استخراج ما يقرب من ثلثي المعادن الصلبة في العالم من خلال التعدين السطحي. يتم استخراج المعادن السطحي عبر إزالة وتعرية الغطاء النباتي، والأوساخ، وإذا استلزم الأمر نقوم بإزالة طبقاتٍ من صخر الأديم (Bedrock) لكي نصل إلى مستودعات الخام المدفونة. المعادن الشائعة المستخرجة باستخدام التعدين السطحي هي من أكثر المعادن التي يتم تعدينها بما في ذلك الفحم والحديد والبوكسيت. تشمل تقنيات التعدين

السطحي؛ تعدين الحفرة المفتوحة (Open-pit Mining)، الذي يعني استخراج المواد من حفرةٍ أو منجم مفتوح في سطح الأرض، تشبه هذه التقنية عملية الحفر إلى حدٍ كبير، إلّا أنّ الأولى تشير إلى الرمال، الحجر والطمي، يشمل التعدين بالتعرية إزالةً الطبقات السطحية للكشف عن الخام الرابض بالأسفل، تُصاحب إزالة قمة الجبل على نحوٍ شائع عملية استخراج الفحم، حيث تتضمن العملية إزالة قمة الجبل للوصول إلى مستودعات الخام العميقة.

تشمل تقنيات التعدين السطحي تعدين الحفرة المفتوحة Open-pit Mining

- ### التعدين في مناجم عالية الجدار Highwall Mining

التعدين في مناجمَ عالية الجدار هو إحدى طرق التعدين السطحي الذي طُوِّر عن التعدين بالمثقاب (Auger Mining).

- ### التعدين الجوفي Underground Mining

يتضمن التعدين الجوفي أو تحت السطحي حفراً في أنفاق وآبارٍ أرضيةٍ بصورةٍ أساسيةٍ للوصول إلى الخامات، ونقلها إلى السطح فضلاً عن التخلص من النفايات الصخرية. يمكن تصنيف استخراج المعادن الجوفي طبقاً لنوع الآبار المستخدمة، وطريقة الاستخلاص أو التقنية المتبعة للوصول إلى المنجم. يستخدم التعدين الجانبي (Drift Mining) أنفاقاً ذات مداخلَ أفقية، كما تُستخدم الآبار ذات المنافذ المنحدرة في التعدين المائل، ويستخدم التعدينٍ الآباري آباراً ذات منافذ رأسية، ويتطلب التعدين تقنياتٍ مختلفةً لكلٍّ من التكوينات الصخرية الصلبة واللدنة. المعادن الشائعة المستخرجة باستخدام التعدين تحت الأرض تشمل الذهب والرصاص والفضة.



يعتبر منجم El Teniente في تشيلي من أكبر مناجم النحاس تحت الأرض في العالم وسادس أكبر منجم للنحاس من حيث الحجم الاحتياطي

التعديـــن الحيـــوي Biomining

التعديـن الحيـوي Biomining هـو عمليـة اسـتخدام الكائنـات الحيـة الدقيقـة (الميكروبات) لاستخراج المعادن ذات الأهمية الاقتصادية من خامات الصخور أو نفايات المناجم. يمكن أيضاً استخدام تقنيات التعدين الأحيائي لتنظيف المواقع الملوثة بالمعادن. عادة ما ترتبط المعادن الثمينة بالمعادن الصلبة. يمكن لبعض الميكروبات أكسدة تلك المعادن، مما يسمح لها بالذوبان في الماء. هذه هي العملية الأساسية وراء معظم التعدين الحيوي، والتي تُستخدم للمعادن التي يمكن استعادتها بسهولة أكبر عند الذوبان منها من الصخور الصلبة. تستخدم تقنية تعدين أحيائي مختلفة، للمعادن التي لا تذوبها الميكروبات، الميكروبات لتفكيك المعادن المحيطة، مما يسهل استعادة المعدن المعني مباشرة من الصخور المتبقية.

ما هي المعادن التي يتم تشكيلها حيويا حالياً؟

تستهدف معظم عمليات التعدين الأحيائي الحالية المعادن الثمينة، مثل: النحاس واليورانيوم والنيكل والذهب، التي توجد عادة في المعادن الكبريتية (الحاملة للكبريت). الميكروبات جيدة بشكل خاص في أكسدة المعادن الكبريتية، وتحويل المعادن، مثل: الحديد والنحاس إلى أشكال يمكن أن تذوب بسهولة أكبر. لا يتم إذابة المعادن الأخرى، مثل الذهب، بشكل مباشر من خلال هذه العملية الميكروبية، ولكنها أصبحت متاحة بشكل أكبر لتقنيات التعدين التقليدية لأن المعادن المحيطة بهذه المعادن يتم إذابتها وإزالتها عن طريق العمليات الميكروبية. عندما يتم إذابة المعدن المعني مباشرة، تسمى عملية المعالجة الحيوية «التبييض

الحيوي»، وعندما يصبح المعدن محل الاهتمام أكثر سهولة في الوصول إليه أو «إثرائه» في المادة المتروكة، يطلق عليه «الأكسدة الحيوية». تتضمن كلتا العمليتين تفاعلات جرثومية يمكن أن تحدث في أي مكان تحدث فيه الميكروبات والصخور والعناصر الغذائية الضرورية، مثل الأكسجين، معاً.

العمليات الأكثر شيوعاً المستخدمة في التعدين الحيوي هي:

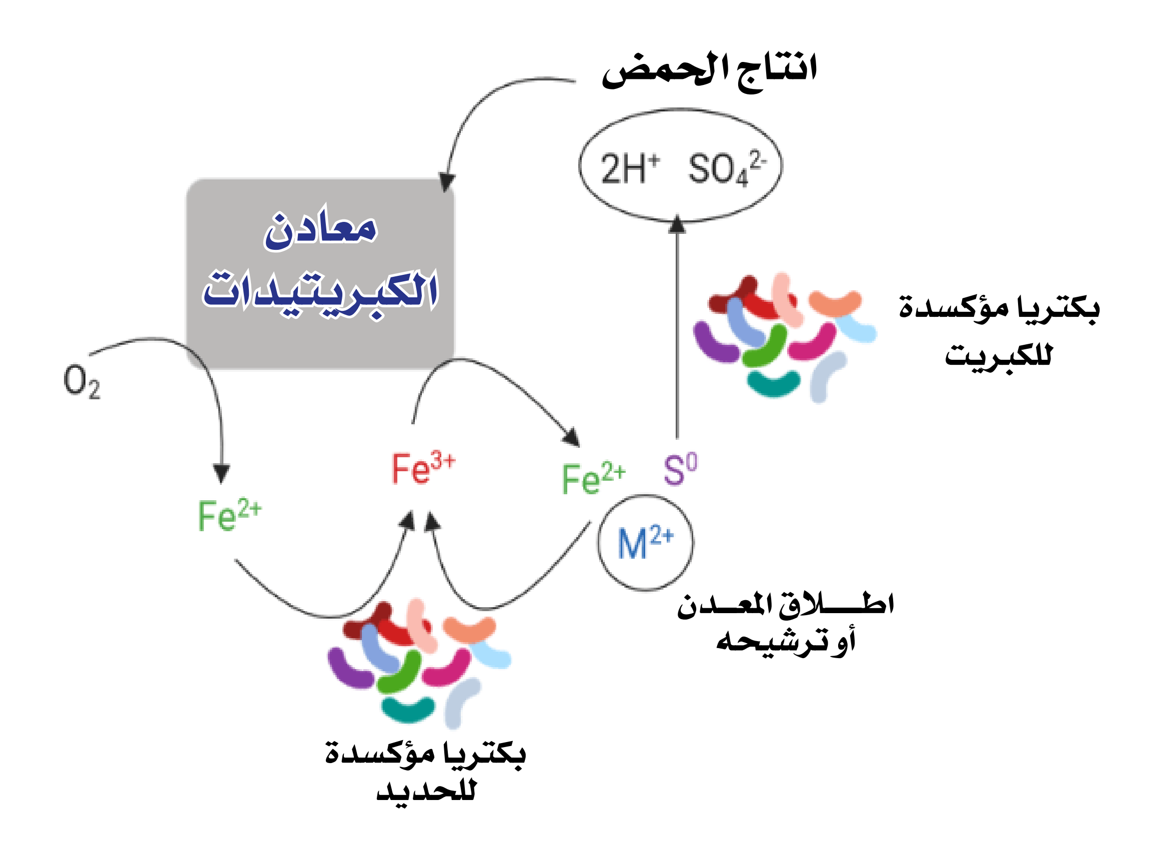
- **ترشيح الكومة**: يتم نقل المواد المستخرجة حديثاً مباشرة إلى أكوام يتم بعد ذلك تبيضها بيولوجياً.
- **ترشيح التفريغ**: يتم وضع خام منخفض القيمة أو نفايات صخرية في حفرة محكمة الغلق، ثم يتم تقشيرها بيولوجياً لإزالة المزيد من المعادن القيمة من كومة النفايات.
- **الترشيح المهيج**: يتم وضع الصخور المكسرة في وعاء كبير يتم اهتزازه لتوزيع الميكروبات والمواد بالتساوي وتسريع عملية التبييض البيولوجي.

أما التبييض البيولوجي Bioleaching هو طريقة لاستخراج المعادن من خامها باستخدام الكائنات الحية مثل البكتيريا؛ لذلك فإن هذه التقنية أكثر نظافة وصديقة للبيئة من طريقة ترشيح الكومة النموذجية التي تستخدم السيانيد. هذه الطريقة مهمة للغاية في استخراج المعادن، مثل: النحاس والزنك والرصاص والزرنيخ والأنتيمون والنيكل، إلخ. ومن الأمثلة الشائعة ترشيح البايرايت المعدني. تتضمن هذه العملية أنواعاً مختلفة من البكتيريا المؤكسدة للحديد والكبريت. بشكل عام، تتضمن عملية التبييض الأحيائي خطوة بدء يتم فيها استخدام أيونات الحديديك لأكسدة خام المعدن، هنا يتم اختزال أيونات الحديديك إلى

أيونات حديدية. هذه الخطوة لا تشمل الميكروبات. لذلك، يتم استخدام البكتيريا لمزيد من أكسدة خام المعدن. هناك، تستخدم البكتيريا لأكسدة الكبريت والحديد في خام المعدن.

عموماً **التعدين الحيوي والتبييض البيولوجي** تقنيتان تستخدم لاستخراج المعادن من خامها عن طريق الكائنات الحية. يتمثل الاختلاف الرئيسي بين التعدين الحيوي والتبييض البيولوجي في أن التعدين الحيوي هو تقنية استخدام بدائيات النوى Prokaryotes أو الفطريات Fungi لاستخراج المعادن من المعادن، في حين أن التبييض الحيوي هو تقنية استخدام البكتيريا Bacteria لاستخراج المعادن من المعادن.

استخدام تقنية التعدين الحيوي لاستخراج المعادن ذات الأهمية الاقتصادية من خامات الصخور



مخطط التعدين الحيوي: تفاعلات التبييض البيولوجي والأكسدة الحيوية وهما أسماء العمليات التي تحدث في نظام المعالجة الحيوية وتحدث كلتا الطريقتين معاً

تأثير عمليات التعدين على البيئة

- **إزالة الغطاء النباتي:** تتسبب عمليات التعدين في تدمير مساحات شاسعة من الغطاء النباتي.
- **فقدان التنوع البيولوجي:** نتيجة إزالة الغطاء النباتي يؤدي إلى فقدان الكثير من الكائنات الحية.
- **التلوث:** جزء من المخلفات في التربة يجعلها غير صالحة للزراعة.
- **تأثير الماء:** تتسرب معظم الكيماويات مثل الزئبق وحمض الكبريتيك والزرنيخ إلى المياه الأرضية مسببة تلوثاً مختلطة بمياه التربة.
- **فقدان الحياة المائية:** نتيجة اندماج الكيماويات السامة يؤدي إلى فقدان النباتات والحيوانات التي تعيش في الماء.
- **انتشار الأمراض:** نتيجة تجميع المخلفات في المياه الراكدة.

أولاً : أثر التعدين على جودة الهواء

أ - الانبعاثات الضارة

زادت نسبة الانبعاثات الضارة حتى وصلت نسبة ثاني أكسيد الكربون نحو 50 % من إجمالي الغازات المنبعثة التي تنتج من استهلاك كميات كبيرة من الوقود العضوي مثل الفحم والغاز الطبيعي. أسهم غاز الميثان في زيادة الحرارة، حيث تتمثل جوهر طبيعية في الاحتفاظ بالحرارة. أكاسيد النيتروجين التي تنتج من حرق الوقود العضوي وتضر النباتات من خلال عملية التمثيل الضوئي. ولا يمكن تجاهل بعض الصخور التي تحتوى على الميثان وتخزنه داخلها مثل الفحم الذي يطلقه عند تكسيره، كما أن هناك بعض الصخور مثل الحجر الرملي غير الكربوني يمكنها أن تتفاعل مع الميثان المختزن في مسام الصخور فتسمح له بالحركة بسهولة منها تحت ضغط معين.

ب - الضوضاء:

من أشد الصفات التي لازمت التعدين وظهوره سواء أكان التعدين بشكل سطحي أم تحت الأرض. فهي تساعد في تهدد أمان وصحة عُمَّال المناجم، ويعد أكبر أثر صحي للضغط الزائد من الضوضاء هو أضعاف حاسة السمع لدى العُمَّال الذي يعملون في هذه المجالات. بالإضافة للضوضاء التي يتعرض لها الإنسان خارج المناطق الصناعية من ضوضاء المجتمع وضوضاء البيئة، وتتسم بأثرها الضعيف عن ضوضاء الأماكن الصناعية.

ثانياً: أثر التعدين على المياه السطحية والجوفية

أسهمت عملية تجفيف المنجم على كمية المياه الجوفية المتواجدة بطريقة ملحوظة. مما أسهم في حدوث انخفاض مستوى المياه في المنجم وما يجاوره. وبالتالي يساعد في زيادة الجفاف في العيون والينابيع المحيط بتلك الأماكن. ووصل الأثر السلبي من التعدين على جودة المياه الجوفية من خلال الأعمال التعدينية المتنوعة، وأعمال الإنشاء، ونشاطات النقل، وتجفيف المياه المنجمية، وعمليات التخلص من النفايات.

ثالثاً: آثار التعدين السلبية على الأرض

تعرية الأرض: متمثلة في التدهور للأراضي الزراعية الذي انعكس على النظام البيئي وأحدث خللاً في الدورة البيئية. التي تتطلب العديد من السنوات ليعود لوضعه الأصلي، وخاصة في المناطق القاحلة يصبح من الصعب علاجها. استخدام المنظفات في عمليات استصلاح الأراضي، حيث تلجأ العديد من الشركات في عملية استصلاح الأراضي والتربة. وإعادتها لوضعها الطبيعي لاستخدام المواد الكيميائية التي قد يتواجد في بعضها المنتجات الصديقة للبيئة. الحرارة والرطوبة، زيادة درجة الحرارة والهواء الرطب التي قد تصل إلى 35 درجة في المناجم تسهم في التأثير سلبي على العُمَّال وعلى الهواء وتزيد من الهواء الرطب. ففي بعض الأوقات تصل درجات الحرارة في مناجم إلى 50 درجة أسفل الأرض.

المراجع العربية

الأبهري، أثير الدين، هداية الحكمة، ط1، مكتبة المدينة للطباعة والنشر والتوزيع، كراتشي، 2019م.

أفلاطون، الطيماوس واكريتيس، تحقيق وتقديم: البير ريفو، ترجمة: فؤاد جرجي بربارة، الهيئة المصرية العامة للكتاب، دمشق، 2014م.

أفندي، عماد الدين، أطلس حضارات العالم القديمة، مراجعة: د. سائر بصمه جي، ط2، دار الشرق العربي، بيروت، 2016م.

الأهواني، أحمد فؤاد، الكندي فيلسوف العرب، سلسلة أعلام العرب26-، وزارة الثقافة والإرشاد القومي، القاهرة، 1964م.

البابا، محمد زهير، التعدين أساس علم الكيمياء، مجلة التراث العربي، العدد 79، أبريل، دمشق، 2000م.

البخاري، السيد الشريف، رسالة ملتقطة من رسالة السيد الشريف البخاري في الصناعة الفلسفية، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006).

برنال، جون، العلم في التاريخ، ترجمة: شكري إبراهيم سعد، ج1، المؤسسة العربية للدراسات والنشر، بيروت، 1981م.

البغدادي، عبد اللطيف، الإفادة والاعتبار في الأمور المشاهدة والحوادث المعاينة بأرض مصر، ط1، مطبعة وادي النيل، القاهرة، 1869م.

بونهيم، ماري-إنج وبفيرش، لوقا، عالم المصريين، ترجمة وتعليق: ماهر جويجاتي، المركز القومي للترجمة، العدد 2033، ط1، القاهرة، 2014م.

جيمـز، ت. ج. هـ.، كنوز الفراعنة، ترجمة: أحمد زهير أمين، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1999م.

حسـن، محمد يوسف، والنقاش، عدنان باقر، أثر التراث العربي في بعث الفكر الجيولوجي قبيل عصر النهضة مجلة المورد، مج 9، ع 1، وزارة الثقافة والإعلام، بغداد، 1980م.

الحمـوي، ياقوت، معجم البلدان، ج2، دار صادر، بيروت، 1995م.

حميـد، انتصار أحمد حسن، الأحجار الكريمة في حضارة وادي الرافدين، ط1، دار المشرق الثقافية، دهوك، 2013م.

الخوارزمي، محمد بن أحمد بن يوسف، مفاتيح العلوم، ط2، تحقيق: إبراهيم الأبياري، دار الكتاب العربي، القاهرة، 1989م.

دوكـروك، ألبير، قصة العناصر، ترجمة: وجيه السمان، منشورات وزارة الثقافة، دمشق، 1981م.

الـرازي، فخر الدين، المنتخب من كتاب الملخص، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006).

الرحـال، محمد عادل، صناعة المعادن وتجارتها في مملكة أوجاريت في عصر البرونز الحديث بين (1400–1200 ق.م)، وزارة الثقافة، الهيئة العامة السورية للكتاب، دمشق، 2018م.

الزركـان، محمد علي، المصطلحات العلمية العربية القديمة في علم الجواهر والأحجار الكريمة، بحث منشور ضمن أبحاث المؤتمر السنوي العشرين لتاريخ العلوم عند العرب المنعقد في حلب - 1999م، إعداد: مصطفى موالدي ومصطفى شيخ حمزة، منشورات جامعة حلب، معهد التراث العلمي العربي، حلب، 2006م.




سارتون، جورج، تاريخ العلم، ترجمة: لفيف من العلماء، ج3، ط1، المركز القومي للترجمة، العدد 1638، القاهرة، 2010م.

سوسة، أحمد، العرب واليهود في التاريخ، ط2، المركز العربي للإعلان والنشر، دمشق، 1981م.

ابن سينا، الشفاء - الطبيعيات، المعادن والآثار العلوية، ج2، ط2، تحقيق: محمود قاسم، منشورات مكتبة آية اللّه العظمى المرعشي النجفي الكبرى، قم، 2012م.

الشكري، جابر، الكيمياء عند العرب، منشورات وزارة الثقافة والإعلام، بغداد، 1979م.

شلتوت، مسلم، الفلك والمراصد الفلكية في مصر الفاطمية الإسلامية، المعهد القومي للبحوث الفلكية والجيوفيزيقية، حلوان. 2009م.

الصباغ، أحمد سالم، علم المعادن الفيزيائية، منشورات جامعة حلب، حلب، (د. ت).

صبحي، أحمد محمود، وحملها الإنسان، ط1، دار النهضة العربية، بيروت، 1997م.

الطغرائي، مؤيد الدين، تراكيب الأنوار، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة المتحف البريطاني، رقم (Or. MS. 13,006).

الطحلاوي محمد رجائي، التأثير البيئي للتعدين ، جامعة أسيوط. 2014 م.

عبد الحميد، هشام كمال، تكنولوجيا الفراعنة والحضارات القديمة، ط1، مكتبة النافذة، القاهرة، 2008م.

عبد النبي، مصطفى يعقوب، الأصول العربية لأسماء المعادن في اللغات الأجنبية، مجلة آفاق الثقافة والتراث، السنة 17، العدد 65، ربيع الثاني/ مارس، مركز جمعة الماجد، دبي، 2009م.

العراقي السيماوي، محمد بن أحمد، المكتسب في زراعه الذهب، مخطوط ضمن مجموع في مكتبة نور عثمانية، إستنبول، رقم (3633).

عوض الله، محمد فتحي، الإنسان والثروات المعدنية، عالم المعرفة 33-، سلسلة كتب ثقافية شهرية يصدرها المجلس الوطني للثقافة والفنون، الكويت، 1980م.

فارنتن، بنيامين، العلم الإغريقي، ترجمة: أحمد شكري سالم، ط1، ج1، المركز القومي للترجمة، القاهرة، 2011م.

الفضلي، إبراهيم جواد والسبتي، غسان محمد، المنقول والمدلول في الأفكار والمعارف الجيولوجية عند العرب، بحث منشور ضمن أبحاث المؤتمر السنوي السادس لتاريخ العلوم عند العرب، تحرير خالد ماغوط ومحمد عليّ خياطة، منشورات معهد التراث العلمي العربي، جامعة حلب، 1984م.

قنواتي، جورج شحادة، تاريخ الصيدلية والعقاقير في العهد القديم والعصر الوسيط، مؤسسة هنداوي، القاهرة، 2017م.

الكندي، أبو يعقوب، رسائل الكندي الفلسفية، تحقيق: عبد الهادي أبو ريدة، القاهرة، 1950م.

كوب، كاتي ووايت، هارولد جولد، إبداعات النار، ترجمة: فتح الله الشيخ، ط1، سلسلة عالم المعرفة، رقم 266، المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 2001م.

كوت، ميشيل، التراث الثقافي للماء، ط2، المجلس الدولي للآثار والمواقع، شارنتون لو بونت، 2019م.

كوريير، ريتشارد، بلا قيود، ترجمة: دينا عادل غراب، مؤسسة هنداوي، القاهرة، 2020م.

ابن مثويه، الحسن، التذكرة في أحكام الجواهر والأعراض، تحقيق: سامي نصر لطف وفيصل عون، دار الثقافة، القاهرة، 1975م.

مفلح، عصام، سيمياء العرب والنهضة العلمية، مجلة المعرفة، العدد 605، السنة 52، وزارة الثقافة، دمشق، شباط 2014م.

موسى، حسين يوسف وعبد الفتاح الصّعيدي، الإفصاح في فقه اللغة، ج 2، ط4، مكتب الإعلام الإسلامي، قم، 1990م.

الهاشمي، محمد يحيى، حول كتب الأحجار العربية، مجلة فكر وفن، العدد 6، 1 يونيو، ألمانيا، 1965م.

هالو، روبير، استقبال الخيمياء العربية في الغرب، بحث منشور في موسوعة تاريخ العلوم العربية، ج3، إشراف رشدي راشد، مركز دراسات الوحدة العربية - مؤسسة عبد الحميد شومان، ط2، بيروت، 2005م.

ابن وحشية، أحمد، كنز الأسرار، مخطوطة نور سليمانية، رقم (3631).

الورد، عبد الأمير محمد أمين والفضلي، إبراهيم جوّاد، الأصول العربية لعلم الأراضة (الجيولوجيا)، بحث منشور ضمن أبحاث الندوة العالمية الأولى لتاريخ العلوم عند العرب، جامعة حلب، حلب، 1977م.

المراجع الأجنبية

Clark A. M. (1993): Hey's Mineral Index, 3rd print, Chapman & London.

Duda R., Rejl L. (1986): Minerals of the World, Hamlyn, Twickenham.

Hibbard, M.J., (2002). Mineralogy: a geologist's point of view. Mc Graw Hill. 562P.

Lide, D.R. (2000) .CRC Handbook of Chemistry and Physics. CRC Press.

Pipken, B. W.,andTrent, D. D. (2001) Geology and the Environment. Brooks / Cole.541 pages.

Rossi, Cesare & Russo, Flavio & Russo, Ferruccio, (2009), Ancient Engineers' Inventions, Springer, Italy.

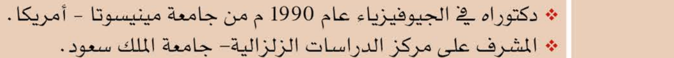
Van Kooten, G.C. and Bulte; E.H. (2000) The Economics of Nature, Blackwell Publishers, 512p


موسوعة العمري في علوم الأرض


موسوعة العمري
في علوم الأرض

أ.د. عبد الله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com E.mail : alamri.geo@gmail.com Cell : +966505481215



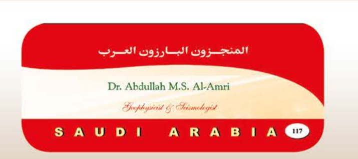
المناصب الإدارية والفنية	❖ دكتوراه في الجيوفيزياء عام 1990 م من جامعة مينيسوتا - أمريكا. ❖ المشرف على مركز الدراسات الزلزالية- جامعة الملك سعود. ❖ المشرف على كرسي استكشاف الموارد المائية في الربع الخالي. ❖ المشرف على مركز الطاقة الحرارية الارضية بجامعة الملك سعود. ❖ رئيس الجمعية السعودية لعلوم الأرض. ❖ رئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء - جامعة الملك سعود. ❖ مؤسس ورئيس تحرير المجلة العربية للعلوم الجيولوجية AJGS. ❖ رئيس فريق برنامج زمالة عالم مع جامعة أوريغون الحكومية الأمريكية ومعهد ماكس بلانك الألماني.
الاستشارات والعضويات	• مستشار مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية. • مستشار هيئة المساحة الجيولوجية وهيئة المساحة العسكرية والدفاع المدني. • مستشار مدينة الملك عبدالله للطاقة الذرية والمتجددة. • مستشار هيئة الرقابة النووية والإشعاعية. • باحث رئيس في عدة مشاريع بحثية مدعمه من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية وشركة أرامكو. • باحث رئيس في مشاريع مدعمه من وزارة الطاقة الأمريكية وجامعة كاليفورنيا ومعمل ليفرمور الأمريكي LLNL. • عضو الجمعية الأمريكية للزلازل. • عضو الاتحاد الأمريكي للجيوفيزياء. • عضو الاتحاد الأوروبي للجيولوجيين. • عضو لجنة كود البناء السعودي وعضو المنتدى الخليجي للزلازل GSF. • عضو لجنة تخفيف مخاطر الزلازل في دول شرق البحر الأبيض المتوسط RELEMR. • باحث رئيسي ومشارك في مشاريع بحثية مع جامعات الاباما وبنسلفانيا وأوريغون الامريكية. • ضمن قائمة (المنجزون البارزون العرب) من قبل منظمة ريفاسيمنتو الدولية. • ضمن قائمة Who's Who في قارة آسيا للتميز العلمي. • ضمن قائمة Who's Who في العالم للإسهامات العلمية.
النشر العلمي والتأليف	❖ نشر أكثر من **200** بحثاً علمياً في مجلات محكمة. ❖ ألف **35** كتاباً علمياً. ❖ أصدر موسوعة رقمية في علوم الأرض من **14** مجلداً و**107** ملفات علمية.
المشاريع البحثية	❁ أنجز **40** مشروعاً بحثياً محلياً و **16** مشروعاً بحثياً دولياً و **74** تقريراً فنياً.
المؤتمرات والندوات	❁ شارك في أكثر من **125** مؤتمراً محلياً ودولياً و **75** ندوة وورشة عمل متخصصة.
التعاون الدولي	❁ باحث رئيسي في **13** مجموعة عمل أمريكية وألمانية.
الجوائز	❖ حصل على جائزة المراعي للإبداع العلمي عام 2005 م. ❖ حصل على جائزة التميز الذهبي من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم و التقنية عام 2006 م. ❖ حصل على جائزة أبها التقديرية للإسهامات العلمية عام 2007م. ❖ حصل على جائزة جامعة الملك سعود للتميز العلمي عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة الاتحاد الامريكي للجيوفيزياء للتعاون الدولي والنشاط البحثي عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة جامعة السلطان قابوس للإسهامات العلمية عام 2013 م. ❖ حصل على جائزة الملك سعود لإدراج المجلة العربية للعلوم الجيولوجية في قائمة الـ ISI. ❖ حصل على جائزة أفضل رئيس تحرير مجلة علمية عام 2017 من الناشر الألماني SPRINGER. ❖ حصل على جائزة ألبرت نيلسون ماركيز للإنجاز مدى الحياة عام 2018 من منظمة Who's Who العالمية.
دروع التكريم	❖ حصل على **85** درعاً تكريمياً وشهادات تقدير من المملكة وعمان والكويت والإمارات والأردن ومصر وتونس والجزائر وألمانيا وأمريكا.







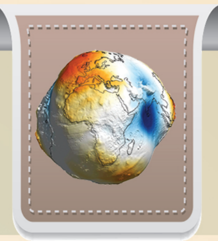







موسوعة العمري في علوم الأرض

Al-Amri's Encyclopedia of Earth Sciences




1 تقدير عمر الأرض

2 شكل الأرض وحركاتها

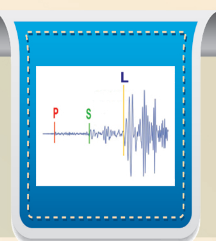
3 الجاذبية الأرضية وتطبيقاتها


4 التركيب الداخلي للأرض


5 المعادن والتعدين


6 المد والجزر






7 موجات التسونامي


8 الزلازل والتفجيرات


9 تقييم مخاطر الزلازل

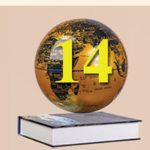

10 البراكين وسبل مجابهتها


11 جيولوجية القمر


12 الأغلفة المحيطة بالأرض




13 المشاكل البيئية وحلولها

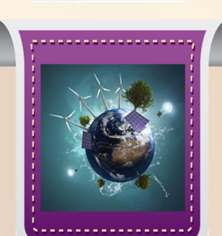

14 التغيرات المناخية والاحتباس الحراري

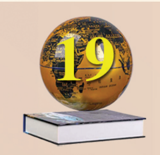

15 التشجير التحديات والحلول

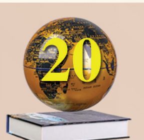

16 الانزلاقات والانهيارات والفيضانات

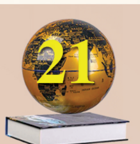

17 الأمطار السيول والسدود

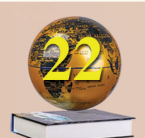

18 التصحر والجفاف




19 مستقبل الطاقة في عالمنا


20 الطاقة الحرارية الأرضية

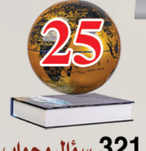

21 هل انتهى عصر النفط؟

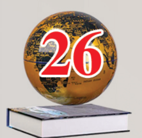

22 الجيوفيزياء النووية

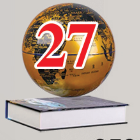

23 الجيولوجيا الطبية

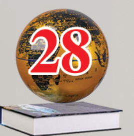

24 دليل كتابة الرسائل والنشر العلمي

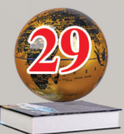


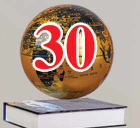

25 321 سؤال وجواب في تطور الأرض


26 325 سؤال وجواب في علم الصخور والجيوكيمياء


27 358 سؤال وجواب في الثروات الطبيعية


28 380 سؤال وجواب في المخاطر الجيولوجية


29 303 سؤال وجواب في علم الزلازل والزلزالية الهندسية


30 300 سؤال وجواب في الجيوفيزياء التطبيقية





www.alamrigeo.com